

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公表特許公報 (A)

(11) 特許出願公表番号

特表2002-504385

(P2002-504385A)

(43) 公表日 平成14年2月12日 (2002. 2. 12)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テマコード* (参考)
A 6 1 B 1/00		A 6 1 B 1/00	Z 4 C 0 6 1
G 0 6 F 17/60	1 2 6	G 0 6 F 17/60	1 2 6 E 4 C 1 6 7
// A 6 1 M 25/00	4 4 0	A 6 1 M 25/00	4 4 0 Z

審査請求 未請求 予備審査請求 有 (全 69 頁)

(21) 出願番号 特願2000-532834(P2000-532834)
 (86) (22) 出願日 平成10年2月23日 (1998. 2. 23)
 (85) 翻訳文提出日 平成12年8月23日 (2000. 8. 23)
 (86) 国際出願番号 P C T / 1 L 9 8 / 0 0 0 8 7
 (87) 国際公開番号 W O 9 9 / 4 2 9 7 7
 (87) 国際公開日 平成11年8月26日 (1999. 8. 26)

(71) 出願人 アルゴテック システムズ リミテッド
 イスラエル国 ラーナナ 43000 ビー.
 オー. ボックス 2408
 (72) 発明者 シボレット オメール
 イスラエル国 テル アビブ 64288 ハ
 イム ヴィ' エリシャ ストリート 3
 (74) 代理人 弁理士 松岡 修平
 Fターム(参考) 4C061 AA30 NN10 SS21
 4C167 AA80 BB43 BB44 BB45 BB54
 CC07 CC08 CC21 CC23 HH08

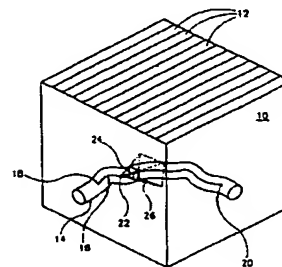
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 自動経路立案方法

(57) 【要約】

仮想内視鏡検査のための、様々なファクターに基づいた自動的な経路立案の方法が提供される。

【解決手段】経路立案の方法であって、腔 (cavity) と境界を表している医療画像化データセットの提供と、少なくとも開始点と終了点を含む前記データセット内の複数の点の提供と、前記腔の中の様々な点の通過に関連付けられたペナルティに応じた、前記開始点と前記終了点間の自動的な経路決定とを含む。点に関連付けられたペナルティ値は、点と境界との距離に依存するのが好ましい。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 経路立案の方法であって、
腔（cavity）と境界を表している医療画像化データセットの提供と、
少なくとも開始点と終了点を含む前記データセット内の複数の点の提供と、
前記腔の中の様々な点の通過に関連付けられたペナルティ（penalty）に応じた、前記開始点と前記終了点間の自動的な経路決定と、
を含むことを特徴とする経路立案方法。

【請求項2】 前記ペナルティ関数は、腔の形態に応じていること、を特徴とする請求項1に記載の経路立案方法。

【請求項3】 前記形態は、幅を含むこと、を特徴とする請求項2に記載の経路立案方法。

【請求項4】 前記形態は、局所的な形態であること、を特徴とする請求項2又は請求項3に記載の経路立案方法。

【請求項5】 前記ペナルティ関数は、経路に応じていること、を特徴とする請求項1から請求項4のいずれかに記載の経路立案方法。

【請求項6】 前記ペナルティ関数は、経路の局所的な湾曲の量に応じていること、を特徴とする請求項5に記載の経路立案方法。

【請求項7】 自動的な経路決定は、ビューポート（viewport）の原点の軌道の自動的な決定を含むこと、を特徴とする請求項1から請求項6のいずれかに記載の経路立案方法。

【請求項8】 複数の点の提供は、軌道の提供を含むこと、を特徴とする請求項1から請求項7のいずれかに記載の経路立案方法。

【請求項9】 自動的な経路決定は、照準点の軌道の自動的な決定を含むこと、を特徴とする請求項1から請求項8のいずれかに記載の経路立案方法。

【請求項10】 自動的な経路決定は、ビューポート原点を通して進む経路を基準とする、視線の角度方向づけの自動的な決定を含むこと、を特徴とする請求項1から請求項9のいずれかに記載の経路立案方法。

【請求項11】 自動的な経路決定は、腔の局所的な幅に応じた、ビューポート原点を通して進む経路を基準とする、視線の角度方向づけの自動的な決定を

含むこと、を特徴とする請求項 1 から請求項 9 のいずれかに記載の経路立案方法。

【請求項 12】 自動的な経路決定は、腔の局所的な湾曲に応じた、ビューポート原点を通過して進む経路を基準とする、視線の角度方向づけの自動的な決定を含むこと、を特徴とする請求項 1 から請求項 9、又は請求項 11 のいずれかに記載の経路立案方法。

【請求項 13】 自動的な経路決定は、視野原点の軌道に沿っての少なくとも一つの目視パラメータ (viewing parameter) の自動的な決定を含むこと、を特徴とする請求項 1 から請求項 10 のいずれかに記載の経路立案方法。

【請求項 14】 前記ペナルティは、点から可能な目視品質に依存すること、を特徴とする請求項 1 から請求項 13 のいずれかに記載の経路立案方法。

【請求項 15】 前記目視品質は、人の知覚能力に依存すること、を特徴とする請求項 14 に記載の経路立案方法。

【請求項 16】 前記目視品質は、前記経路を用いて実行される特定の作業に依存すること、を特徴とする請求項 14 又は請求項 15 に記載の経路立案方法。

【請求項 17】 経路の平滑化を含むこと、を特徴とする請求項 1 から請求項 16 のいずれかに記載の経路立案方法。

【請求項 18】 前記平滑化は、前記経路の平滑化される部分での、腔の局所的な幅に依存すること、を特徴とする請求項 17 に記載の経路立案方法。

【請求項 19】 少なくとも前記開始点と終了点間の自動的な経路決定の、自動的な繰返しを含むこと、を特徴とする請求項 1 から請求項 18 のいずれかに記載の経路立案方法。

【請求項 20】 前記経路決定についての少なくとも一つのユーザー提供の制限の提供を含むこと、を特徴とする請求項 1 から請求項 19 のいずれかに記載の経路立案方法。

【請求項 21】 自動的な繰返しは、少なくとも一つのユーザー提供の制限に応じた、自動的な経路決定の自動的な繰返しを含むこと、を特徴とする請求項 19 に記載の経路立案方法。

【請求項22】 前記少なくとも一つの制限は、厳格な制限を含むこと、を特徴とする請求項20又は請求項21に記載の経路立案方法。

【請求項23】 前記少なくとも一つの制限は、柔軟な制限を含むこと、を特徴とする請求項20から請求項22のいずれかに記載の経路立案方法。

【請求項24】 ユーザーに対するどの制限が満たされないかの表示を含むこと、を特徴とする請求項20から請求項23のいずれかに記載の経路立案方法。

【請求項25】 前記経路決定のためのデータ粒度レベルの選択を含むこと、を特徴とする請求項1から請求項24のいずれかに記載の経路立案方法。

【請求項26】 自動的な経路決定は、点に対するペナルティ関数の値を求めることを含むこと、を特徴とする請求項1から請求項25のいずれかに記載の経路立案方法。

【請求項27】 前記ペナルティ関数は、前記腔の境界からの点の距離に依存すること、を特徴とする請求項26に記載の経路立案方法。

【請求項28】 前記ペナルティ関数は、境界からより遠い点に対してより低いこと、を特徴とする請求項27に記載の経路立案方法。

【請求項29】 前記ペナルティ関数は、前記境界へ接近するときにかんりの増加の比率を有すること、を特徴とする請求項28に記載の経路立案方法。

【請求項30】 前記ペナルティ関数は、前記境界から遠くで低い変化の比率を有すること、を特徴とする請求項28又は請求項29に記載の経路立案方法。

【請求項31】 データセットの浸食 (erosion) による前記距離の決定を含むこと、を特徴とする請求項27から請求項30のいずれかに記載の経路立案方法。

【請求項32】 前記腔の境界からの波動伝搬による前記距離の決定を含むこと、を特徴とする請求項27から請求項30のいずれかに記載の経路立案方法。

【請求項33】 前記経路決定は、比較的短い経路の決定を含むこと、を特徴とする請求項1から請求項32のいずれかに記載の経路立案方法。

【請求項34】 前記比較的短い経路は、様々な位置に関連付けられたペナルティ値を考慮に入れた最短の経路を含むこと、を特徴とする請求項33に記載の経路立案方法。

【請求項35】 自動的な経路決定は、少なくとも腔の一部分を表すグラフの生成を含むこと、を特徴とする請求項33又は請求項34に記載の経路立案方法。

【請求項36】 前記経路は前記グラフに経路探索方法を適用することによって決定され、前記グラフの前記一部分は、前記方法によって要求されるときにのみ生成されること、を特徴とする請求項35に記載の経路立案方法。

【請求項37】 自動的な経路決定は、前記グラフについてのDijkstraの最短経路探索方法を用いた経路の決定を含むこと、を特徴とする請求項35又は請求項36に記載の経路立案方法。

【請求項38】 前記グラフは、前記腔の中のボクセル (voxel) の部分セットのみを含むこと、を特徴とする請求項35から請求項37のいずれかに記載の経路立案方法。

【請求項39】 前記グラフは、概ね前記腔のスケルトン (skeleton) のみを含むこと、を特徴とする請求項38に記載の経路立案方法。

【請求項40】 前記スケルトンは、前記腔の浸食からのデータを利用して見つけられ、浸食は前記境界からの内部の点の距離を決定するために利用されること、を特徴とする請求項39に記載の経路立案方法。

【請求項41】 前記データセットは、ボクセルで表されること、を特徴とする請求項1から請求項40のいずれかに記載の経路立案方法。

【請求項42】 前記境界は、ポリゴンで表されること、を特徴とする請求項1から請求項41のいずれかに記載の経路立案方法。

【請求項43】 前記データセットは、CTデータセットを含むこと、を特徴とする請求項1から請求項42のいずれかに記載の経路立案方法。

【請求項44】 前記データセットは、MRIデータセットを含むこと、を特徴とする請求項1から請求項42のいずれかに記載の経路立案方法。

【請求項45】 前記データセットは、NMデータセットを含むこと、を特

徴とする請求項1から請求項42のいずれかに記載の経路立案方法。

【請求項46】 前記境界は、その中に小さな穴を有し、前記経路はあらかじめ定められた幅よりも狭い穴を通過しないこと、を特徴とする請求項1から請求項45のいずれかに記載の経路立案方法。

【請求項47】 前記前記あらかじめ定められた幅は、前記腔の形態に依存すること、を特徴とする請求項46に記載の経路立案方法。

【請求項48】 経路立案の方法であって、
複数の湾曲部と境界を有する腔を表す医療データセットの提供と、
少なくとも開始点と終了点を含む前記データセットの複数の点の提供と、
前記開始点と終了点間の自動的な経路決定とを含み、
前記経路は、少なくとも二つの前記湾曲部において、前記腔のほぼ中央軸にとどまらず、かつ前記境界に対するあらかじめ定められた距離よりも近くには接近しないこと、
を特徴とする経路立案方法。

【請求項49】 前記データセットはボクセルを用いて表され、前記経路は前記境界に対して1ボクセルより近くには接近しないこと、を特徴とする請求項48に記載の経路立案方法。

【請求項50】 前記データセットはボクセルを用いて表され、前記経路は前記境界に対して3ボクセルより近くには接近しないこと、を特徴とする請求項48に記載の経路立案方法。

【請求項51】 前記データセットはボクセルを用いて表され、前記経路は前記境界に対して、前記腔の局所的な幅の10分の1より近くには接近しないこと、を特徴とする請求項48に記載の経路立案方法。

【請求項52】 前記データセットはボクセルを用いて表され、前記経路は、前記境界のあらかじめ定められた幅より狭い穴を通過しないこと、を特徴とする請求項48に記載の経路立案方法。

【請求項53】 腔とその境界を含むデータセットのスケルトン化 (skeletonizing) する方法であって、

増加する半径Rの球を用いる、前記腔の浸食と、

前記浸食を利用しての、前記境界からの前記腔の内側の点の距離の決定と、
それぞれの半径 R ごとに、半径1の球を用いて、前記浸食された腔を広げることと、

スケルトンを形成するための、前記広げることによって前記浸食された腔から取り去られた点の蓄積と、
を含むこと、を特徴とするスケルトン化方法。

【請求項54】 球 R による浸食は、半径 $R-1$ の球を用いての浸食の結果の、半径1の球を用いた浸食を含むこと、を特徴とする請求項53に記載のスケルトン化方法。

【請求項55】 経路立案の方法であって、
腔と境界を表すデータセットの提供と、
少なくとも開始点と終了点とを含む前記データセット内の複数の点の提供と、
前記腔の内部の様々な点の通過に関連付けられたペナルティに応じた、前記開始点及び前記終了点間の自動的な経路決定と、
を含むことを特徴とする経路立案方法。

【請求項56】 前記ペナルティ関数は、前記腔の幅に応じていること、を特徴とする請求項55に記載の経路立案方法。

【請求項57】 前記ペナルティ関数は、前記経路の局所的な湾曲の量に応じていること、を特徴とする請求項56又は請求項57に記載の経路立案方法。

【請求項58】 自動的な経路決定は、点について前記ペナルティ関数の値を求めることを含むこと、を特徴とする請求項55から請求項57のいずれかに記載の経路立案方法。

【請求項59】 前記ペナルティ関数は、前記腔の境界からの点の距離に依存すること、を特徴とする請求項58に記載の経路立案方法。

【請求項60】 前記ペナルティ関数は、前記境界からより遠い点に対してより低いこと、を特徴とする請求項59に記載の経路立案方法。

【請求項61】 前記経路決定は、比較的短い経路の決定を含むこと、を特徴とする請求項55から請求項60のいずれかに記載の経路立案方法。

【請求項62】 比較的短い経路は、様々な点に関連付けられたペナルティ

値を考慮に入れた最短の経路を含むこと、を特徴とする請求項61に記載の経路立案方法。

【請求項63】 自動的な経路決定は、前記腔の少なくとも一部分を表すグラフの生成を含み、前記経路は前記グラフに経路探索方法を適用することによって決定され、前記グラフの前記一部分は前記方法によって必要であるとされるときのみ生成されること、を特徴とする請求項61又は請求項62に記載の経路立案方法。

【発明の詳細な説明】**【0001】**

本発明は、3次元医療画像化データセットの表示に関し、特に、仮想内視鏡検査の自動的経路選択に関する。

【0002】**[発明の背景]**

多くの医療の場面で、体内で長く伸びる腔 (cavity) の、腔の中からの視野を得ることが必要になっている。いくつかの一般的な例として、血管、腸、気管支が含まれる。内視鏡 (及び同様の装置、以下一括して内視鏡という。) は、このような腔へ挿入し、それを介してこのような腔の小さな部分を高解像度でリアルタイムに表示することのできる装置である。

【0003】

物理的な内視鏡を用いることは、いくつかの問題を引き起こす。第1に、内視鏡の処理は侵襲性が最小限であるけれども、それでもなお外科手術用の器具の体内への挿入を伴うため、危険であり骨が折れる。さらに、体の外部から、そして長く伸びる腔の中へ無理に突き進むことは、組織を傷つける原因となる。もう一つの問題は、内視鏡の視野と操縦性が限定的であることである。内視鏡の正確な位置及び内視鏡の視点は決定し難いので、内視鏡を用いて体内で移動して見ることは難しい。例えば、全結腸が正しく検査されたことを確認することが重要である結腸内視鏡検査において、この難しさは、検査処置の中で最高である。

【0004】

これに代わるものとして、仮想内視鏡検査として知られるものが、例えば、米国特許5,611,025や米国特許5,458,111に示されており、その開示は参照によって本明細書に組み込まれる。仮想内視鏡検査において、体は、超音波イメージャ、核医学カメラ、磁気共鳴イメージャ又はX線コンピュータ断層撮影スキャナのような3次元医療画像化装置を用いて、3次元データセットを生成するために画像化される。そして、腔の経路を移動する仮想内視鏡によって見たであろうように、グラフィック・プロセッサが画像データから腔内部の視野を復元する。

【0005】

手作業での経路の立案は長い手続きであり、所属医師がこの仕事を実行するのは時として望ましいかも知れないが、医師がそのように行う時間はめったにないであろう。

【0006】

ユーザーが開始点と終了点を入力し、コンピューターが2つの点を接続する経路を生成する、2種類の自動経路立案が当技術分野で知られている。上記の参照された5,611,025特許は、経路が障害物を避け、また経路が平滑化されても良い、組織の腔の中の2点間の最短経路を決定する方法を記載している。しかしながら、このような経路は障害物にとっても接近して進む。例えば、その開示が参照によって本明細書に組み込まれるWWWドキュメント“<http://indigo2.rad.bgsu.edu/software/cp>”に示される別の種類の経路立案方法は、通路の中心をたどる、すなわち腔の中央軸として知られる線をたどる経路を立案することを試みる。記述された一つの実施形態では、複数の中央軸経路が狭窄を持つ結腸のために生成され（狭窄の異なる側を進むそれぞれの経路）、ユーザーは、結腸の大部分を見せる経路を選択する。続いての中央軸の1つの制限は、中央軸が滑らかでなく、また、たとえ通路がとても広くても通路の形態により影響を受けることである。したがって、通路壁の引っ張りが経路の引っ張りの原因となる。

【0007】

[発明の概要]

本発明のいくつかの実施形態の目的は、仮想内視鏡検査のための自動的な経路立案の方法を提供することである。立案された経路は、映画の一続きの場面としてみることのできる複数のフレームを生成するために用いられるのが好ましい。

【0008】

本発明のいくつかの好ましい実施形態のもう一つの目的は、複数のファクターに基づく経路立案の方法を提供することである。好ましくは、ペナルティ (penalty) が、ファクターの相対的な重要度に依存して及び／又はファクターの理想的な値からの偏差に応じて、それぞれのファクター毎に対して、経路上の可能性のあるそれぞれの点に割り当てられる。例えば、境界からの経路上の点の距離のような、少なくともいくつかのファクターは局所的に値を求められるのが好まし

い。代替として又は追加として、例えば経路の長さのような、少なくともいくつかのファクターが全体として値を求められる。本発明の好ましい実施形態において、それぞれのファクターに帰因するペナルティは、腔の形態に、好ましくは例えば幅のような局所的な形態に依存する。代替として又は追加として、ペナルティは、経路自身の特徴に依存する。

【0009】

本発明の好ましい実施形態によれば、ファクターは次の一つ以上を含んでよい：腔の境界からの経路の距離、経路内の湾曲部の鋭さ、経路の長さ、生成された視野のひねりの量、特定の望まれる点の腔の境界についての目視、目視される点の移動スピード、経路の滑らかさ、及び、連続する画像間の変化の量。本発明の好ましい実施形態において、少なくともいくつかのファクターは、見る心地よさ及び／又は目視の品質と関係する。代替として又は追加として、少なくともいくつかのファクターは、生成される視野の診断の用途に関係する。

【0010】

本発明の好ましい実施形態によれば経路立案は次の一つ以上を含む：視野原点についての動きの軌道及び／又は速度特性の立案、視野原点からの視線についての動きの軌道及び／又は方向づけの立案、及び、軌道上の点についての目視パラメータ（viewing parameter）の立案。なお、いくつかのケースでは、視線が動いていたり止まっていたりする間、視野原点は静止していても良い。

【0011】

本発明のいくつかの好ましい実施形態のもう一つの目的は、仮想内視鏡のための、経路が通過する腔のほぼ中央にとどまるように限定されることのない経路を立案する方法を提供することである。本発明の好ましい実施形態において、経路は、腔の境界に及び／又は腔内の障害物に接近しすぎて進むことがない。

【0012】

本発明のいくつかの実施形態のもう一つの目的は、データの取得での小さな誤差によって悪く影響されることのない、特に腔の境界の小さな穴に影響されることのない、経路立案の方法を提供することである。

【0013】

本発明のいくつかの実施形態のもう一つの目的は、本方法が腔及び／又はそれを通る経路の形態上の特徴に関数的に依存する、仮想内視鏡のための経路立案の方法を提供することである。本発明の一つの実施形態において、通路の幅が、経路の平滑化の望まれる量を決定するために用いられる。代替として又は追加として、通路の幅は、データの望まれる粒度及び／又は本方法の1以上のステップのための計算の解答を決定するため用いられる。

【0014】

本発明のいくつかの実施形態のもう一つの目的は、ボクセルデータを直接使い、それにより面表現を生成する必要性及び恐らく誤差の追加を回避する経路立案の方法を提供することである。

【0015】

本発明の好ましい実施形態による経路立案の方法は、少なくともいくつかの下記のステップを含む。

- (a) 腔を含んでいる3次元画像データセットの提供。
- (b) 少なくとも開始点と終了点を含む複数の点の選択。
- (c) 開始点と終了点の間の比較的まっすぐで比較的短く、好ましくは腔の異なるボクセルを通過する望ましさを考慮に入れる経路の決定。
- (d) オプションとしての決定された経路の平滑化。
- (e) 経路上のそれぞれの点についての目視パラメータの決定。
- (f) 好ましくは腔の境界からの経路上の点の距離及び／又は経路の特徴を考慮に入れる、好ましくは経路上の点毎の、経路に沿った移動速度の決定。
- (g) オプションとしての、経路の最適化。

【0016】

本発明の典型的な実施形態において、画像データセットは、CT又はMRIデータセットであり、それらはその後、腔に関する情報を生み出すためにセグメント化される。本発明の一つの好ましい実施形態において、患者は血液のコントラストが中間の状態に注射され、その後CT装置を用いて画像化される。結果としての3次元データセットは、コントラスト増加された血液と他の組織とを識別するために、CT数を用いてセグメント化される。血液に相当するCT数を持つ領

域は、腔として扱われる。理解されるように、一度画像がセグメント化されると、そのいずれかの部分が“内部”に存在するとして、すなわち腔であるとして定義され、また、他のいずれかの部分が固体の部分であるとして、すなわち“外部”として定義される。一つの例は、脊髄中の神経組織に対する骨組織である。境界は、固体のボクセルと透過性のあるボクセルとの間の面の輪郭を定義する数学的な構造体である。以下で説明されるように、本発明のいくつかの好ましい実施形態は、特にたとえ境界内に小さな穴があったとしても、セグメントの品質に関しとりわけ寛大である。関心の対象もまた、ユーザーにより選択された関心の部位に限定されるのが好ましい。代替として又は追加として、“内部”ボクセルを介して開始点と終了点に接続されるボクセルのみが、腔内であるとみなされる。

【0017】

通常、上記の方法は、好ましくは医療画像化システムの一部の、後処理グラフィックステーションにインプリメントされる。代替として、そのステーションは、分離された表示ステーションである。

【0018】

本発明の好ましい実施形態によれば、経路決定は、低い解像度、及び／又はボクセルデータとは異なる打切りグリッド、及び／又は実際の動きの解像度を用いて実行される。例えば、経路決定は、1ボクセルよりも大きい単位サイズを持つグリッドでなされても良く、一方、生成される仮想内視鏡の視野を通じての実際の動きはボクセルの半分のステップサイズを持つ。したがって本発明の好ましい実施形態において、経路決定に用いられるグリッドから実際の動きに用いられるグリッドへの変換のステップがある。このステップは、平滑化実行の前に行われるのが好ましい。代替として、このステップは、恐らく生成される視野のフレーム毎のそれぞれの目視の原点の位置の計算と同じ遅さに遅延される。本発明の好ましい実施形態において、平滑化がボクセルタイプのグリッドで実行される。好ましくは、視野が生成される点の決定は、サンプリング、及び／又は全体のボクセル位置の補間（好ましくは浮動小数点表記法を用いて）によって実行される。

【0019】

ここで用いられる用語“粒度”は、データセット内のボクセルのサイズを指す

為に用いられる。用語“点”は、データセット内の位置を指す為に用いられる。

本発明の好ましい実施形態において、上記のステップ(c)は、開始点と終了点間の最短距離の経路を見つけ出すアルゴリズムを適用することによって実行される。しかしながら、腔内の2点間の距離を決定するための標準的なユークリッド距離関数を用いる代わりに、距離関数は、腔内の異なる点に異なるペナルティを割り当てることにより、腔内の特定の点を通過する経路の望ましさを考慮に入れるのが好ましい。本発明の好ましい実施形態において、ペナルティ関数は、例えば、点と、最も近い境界との距離、又は、点と、腔の局所的な湾曲の量のようないかなかの腔の形態との別の関係のように点それ自身のみ依存する。局所的な形態のみが、このようなペナルティ関数に用いられるのが好ましい。

【0020】

追加として又は代替として、点に関連付けられたペナルティ値は、例えば、経路のねじれの量のような、選ばれた経路又は経路の一部分に依存しても良い。本発明の好ましい実施形態において、比較的短い継続時間が、経路に沿った移動のために望まれる。したがって、継続時間を減らす点が継続時間を増やす点よりも好まれる。一例として、ある点を通っての許容される動きの速度は、経路の湾曲の量に反比例して依存する。したがって、湾曲を増やす点は、継続時間を増やし、たとえそれらが経路を短くするとしても低い望ましさを持つ。

【0021】

代替として又は追加として、点に関連付けられたペナルティ値は、その点から可能性のある視野の品質に依存する。視野の品質は、とりわけ、見ることが要求される点の包含物、このような点の角度解像度、望まれるレンダリングパラメータに依存する利用可能なコントラスト、視点と関心の点を含んでいる面の間の角度、このような関心の点の角度サイズ、及び、見ている間の視野照準点の移動のタイプに依存しても良い。

【0022】

本発明のいくつかの好ましい実施形態において、要求される視野の品質は、点で要求される診断の行為に応じて決定される。代替として又は追加として、要求される視野の品質は、好ましくは視覚の知覚的側面を取り入れる、ユーザー定義

のパラメータである。本発明の好ましい実施形態において、点に関連付けられるペナルティ値は、その点を通しての許容される動きの速度に依存しても良く、そしてまた速度は望まれる視野の品質に依存しても良い。代替として又は追加として、視点は、腔内のある点が腔の他の部分と比較して目視されるであろう時間の相対的な量に基づいて決定される。経路に沿っての前進の速度を局所的に変更することは、腔の異なる部分が目視される相対的な時間を変化させる。

【0023】

したがって、本発明のいくつかの好ましい実施形態によれば、開始点と終了点間の経路は、通常、最短の可能な経路ではないであろうことが理解される。

【0024】

上記の方法は、数多くのステップを含むとして記載されているが、本発明のいくつかの好ましい実施形態において、様々なステップが、組み合わせられ、及び／又は分割され、及び／又はそれらの順序が変更されても良い。本発明の好ましい実施形態において、ユーザーが見たいと望む内容、特に、内容とユーザーが望む視野の品質は、視野が生成されることになる経路上の点を決定するであろう。本発明の一つの好ましい実施形態において、視点が決定された後に、平滑化のステップが実行される。追加として又は代替として、視点が望まれる速度に応じて決定され、目視パラメータがこれらの実際の視点のためだけに決定されるように、ステップ(e)と(f)が入れ替えられる。代替として又は追加として、実際の視点の選択は、経路の局所的な湾曲の量、及び／又は他のパラメータに依存してなされても良い。

【0025】

本発明の好ましい実施形態において、本方法のいくつかのステップのみが適用される。一例として、経路はユーザーによって提供され、上述の方法は、視野照準点の動きの決定の為に用いられる。もう一つの例として、上述の方法は、ユーザー提供の経路をチェックするために用いられる。もう一つの例として、上述の方法は、既存の経路の中央に点を追加するために、及び／又は既存の経路の視野照準点の軌道を変更するために用いられても良い。

【0026】

本発明のもう一つの好ましい実施形態によれば、上述の方法は、半自動のやり方で用いられる。方法は、ユーザーによって申し出された様々な制約に、少なくとも半ば最適には適合する経路を提案する。一例として、ユーザーは、腔、複数の目標点、目視されるべき複数の点、経路と腔の境界との許容される最小の距離を指定する。方法は、好ましくは経路上の点を及び／又はその制約に適合せずに表示される領域を示しながら、提案された経路を生成するであろう。代替として又は追加として、ユーザーは、良好な目視条件で目視すべき関心の点を指定しても良い。この実施形態及び他の実施形態において、目視されないであろう点を示すのが好ましい。代替として又は追加として、方法は、あまりに短すぎる時間で表示され、及び／又は許容される最高の速度（角速度）を上回る速度でスクリーン上で目視領域に沿って動く点を示す。

【0027】

本発明の好ましい実施形態において、厳格なものと柔軟なものの2つのタイプの制約のうち、少なくとも一つが適用される。厳格な制約は違反されては良くない。柔軟な制約は、ペナルティのため、違反されても良いが、一般的にはそれらは違反されないのが好ましい（可能であるならば）。例えば、境界から少なくとも3ボクセル離れるべきとする、経路についての柔軟な制約は、経路の湾曲の許容される量とのトレードオフを取り入れるであろう。厳格な制約はこのようなトレードオフを許容せず、またより大きな量の経路の湾曲の原因となるであろう。理解されるように、過度に厳格な制約は、上述のいくつかの方法に、経路の発見を失敗させる。失敗するよりも、システムがユーザーにある制約を和らげ又は削除することを要求するのが好ましい。代替として、システムは、厳格な制約の最低値を違反する最小違反経路を申し出る。厳格な制約は格付けされるのが好ましい。システムは、何れかの厳格な制約が特定の経路において違反されたならば、ユーザーに示すのが好ましい。ユーザーが違反の影響を推定できるように、違反の経路がユーザーに示されるのが好ましい。

【0028】

本発明の好ましい実施形態によれば、ペナルティ関数は、腔の境界からのボクセルの距離に依存する。本発明の一つの好ましい実施形態において、ペナルティ

関数は、境界に近いボクセルに対して損害を与えるが、境界からある最低限の距離を超えるボクセルは、概ね同じペナルティを持っても良い。このような関数の一例は、実際の距離に指数関数的に逆比例して関連する。別の例として、関数が一定になる距離のカットオフがある。代替として、ペナルティ関数は、ルックアップテーブルを用いて計算されても良い。

【0029】

本発明の一つの好ましい実施形態において、腔の境界からの距離は、境界からの波動伝搬方法によって計算される。本発明の別の好ましい実施形態によれば、距離は、増加する半径の球を用いてそれぞれの半径の段階で腔を順次侵食することによって計算され、侵食されない全てのボクセルは、少なくとも侵食の半径の距離を有するものとしてマークされる。本発明の好ましい実施形態において、侵食プロセスの少なくともいくつかのステップは、小さな球（現在のステップの半径 r より小さい半径を有する）を用いる以前のステップの結果を侵食することにより実行される。

【0030】

本発明の好ましい実施形態によれば、データセット内の全てのボクセルが、経路立案のときに経路上の可能性のある点として考慮されるわけではない。好ましくは点の部分セットが選択され、その結果、経路探索の計算上の複雑さが相当に減じられる。本発明の好ましい実施形態において、例えば高いペナルティを持つ結果、おそらく経路の一部を形成することがないであろうボクセルは、考慮から取り除かれる。本発明の好ましい実施形態において、このようなボクセルの部分セットは、スケルトン化 (skeletonization) によって生成される。スケルトン化は、対象の形態上の特徴を維持しながら、対象のボクセルの数を減じようとするプロセスである。スケルトン化プロセスの生成物は、腔内部にフィットすることのできる最大の球の中心にあるボクセルの集合である。この集合は接続する必要はない。さらに、多くのボクセルが削減されるので、ボクセルは近隣のボクセルを少しも持たない可能性がある。本発明の好ましい実施形態において、近隣のボクセルは、経路決定の目的のために、短い距離の範囲内のそれらのボクセルであると考えられる。内部ボクセルを通過するのみである2点間の短い経路がある

か否かの決定が行われるのが好ましい。この距離は、境界からのボクセルの距離に、及び／又は腔の典型的な幅に依存するのが好ましい。代替として、多くの点への距離がスケルトン内のボクセル毎に決定される。

【0031】

本発明の好ましい実施形態によれば、浸食のそれぞれの段階の結果に基づいてスケルトン化が実行される。本発明の一つの好ましい実施形態において、半径 r のスケルトン化は、第1の、半径 r を持つ球を用いた最初の浸食と、次の、半径1の球を用いて広げること（浸食と膨張）、すなわち、上述のように、 $r+1$ 浸食段階の結果の膨張により達成される。

【0032】

本発明の好ましい実施形態において、アルゴリズムのスピードを増加させるために、データセットの粒度が減じられる。本発明の好ましい実施形態によれば、粒度は固定の比率で減じられる。代替として又は追加として、粒度は、好ましくは腔の形態に依存して、画像データの異なる部分毎に異なる比率で減じられる。代替として又は追加として、粒度は、経路が進む最も狭い通路に応じて選択される。したがって、本発明の好ましい実施形態において、望ましい粒度に影響を及ぼすであろう経路の移動の特徴を評価するために、最初に予備的な最良でない経路が決定される。最終的な粒度は、その後、最良の経路探索方法での使用のために、決定された特徴を用いて決定されるのが好ましい。

【0033】

本発明の好ましい実施形態において、粒度は、アルゴリズムの全てのステップには影響を及ぼさない。本発明の一つの好ましい実施形態において、粒状化が、ステップサイズ、及び／又は浸食で用いられる最小の半径、及び／又はスケルトン化のステップを決定することにより具体化される。代替として又は追加として、局所的な粒度が、経路探索ステップにおいて、ペナルティ関数に逆比例して関連して作られる。ペナルティ関数で大きな変化があり、及び／又はペナルティ関数が高いボクセルにおいて、粒度はより微細であるのが好ましい。粒度は、異方性であるのが好ましい。

【0034】

本発明の好ましい実施形態において、平滑化の量及びタイプは、通路の局所的な幅に依存する。経路が腔の境界に入り及び／又は境界に接近して進む機会を減らすために、狭い通路を進む経路の部分は少しも平滑化されない。

【0035】

本発明の好ましい実施形態において、好ましくはビューポートが中心を置かれる目視のための視線が、目視の原点及び照準点を用いて決定される。照準点は、経路上にあるのが好ましい。目視の原点と照準点との距離は、局所的な湾曲の量及び／又は経路内で最も近い境界への距離に依存するのが好ましい。目視の原点と照準点との距離は、ビューポートをひねるのをあるレベルより下に維持するようなやり方で決定されるのが好ましい。

【0036】

本発明の好ましい実施形態において、ユーザーは、視野が生成される間、目視パラメータのいくつか又は全てをコントロールすることができる。このようなコントロールは次の1又はそれ以上を含む：目視の原点の動作の停止、その速度及び／又は目視の原点の総合的な速度の変更、関心の点をもうけること、照準点及び／又はその移動の軌道の変更、及び、ビューポートの変更。ユーザーは、最初の立案した経路からそれ始める点からの視野の生成を続けることができる。

【0037】

本発明の様々な側面は、ボクセルタイプのデータ表現法、及び／又はいかなる特定の形状にも、及び／又はボクセルのサイズの堅固さに関係しない。本発明の好ましい実施形態において、画像データは、少なくとも一部分は、ボクセルとしてよりむしろ表面を記述するポリゴンとして操作される。このようなケースでは、本発明のいくつかの好ましい実施形態におけるように、経路は、ボクセルのサイズに基づくよりむしろ決定グリッドを利用して決定される。

【0038】

したがって本発明の好ましい実施形態によって提供されるのは、経路立案の方法であって、

腔 (cavity) と境界を表している医療画像化データセットの提供と、
少なくとも開始点と終了点を含む前記データセット内の複数の点の提供と、

前記腔の中の様々な点の通過に関連付けられたペナルティ (penalty) に応じた、前記開始点と前記終了点間の自動的な経路決定とを含む。

【0039】

前記ペナルティ関数は、腔の形態に応じていることが好ましい。前記形態は、幅を含むことが好ましい。代替として又は追加として、前記形態は、局所的な形態である。

本発明の好ましい実施形態において、前記ペナルティ関数は、経路に応じている。前記ペナルティ関数は、経路の局所的な湾曲の量に応じていることが好ましい。

本発明の好ましい実施形態において、自動的な経路決定は、ビューポート (viewport) の原点の軌道の自動的な決定を含む。

【0040】

本発明の好ましい実施形態において、複数の点の提供は、軌道の提供を含む。代替として又は追加として、自動的な経路決定は、照準点の軌道の自動的な決定を含む。代替として又は追加として、自動的な経路決定は、ビューポート原点を通過して進む経路を基準とする、視線の角度方向づけの自動的な決定を含む。代替として又は追加として、自動的な経路決定は、腔の局所的な幅に応じた、ビューポート原点を通過して進む経路を基準とする、視線の角度方向づけの自動的な決定を含む。代替として又は追加として、自動的な経路決定は、腔の局所的な湾曲に応じた、ビューポート原点を通過して進んだ経路を基準とする、視線の角度方向づけの自動的な決定を含む。

【0041】

代替として又は追加として、自動的な経路決定は、視野原点の軌道に沿っての少なくとも一つの目視パラメータ (viewing parameter) の自動的な決定を含む。代替として又は追加として、前記ペナルティは、点から可能な目視品質に依存する。前記目視品質は、人の知覚能力に依存することが好ましい。代替として又は追加として、前記目視品質は、前記経路を用いて実行される特定の作業に依存する。

【0042】

本発明の好ましい実施形態において、本方法は、経路の平滑化を含む。前記平滑化は、前記経路の平滑化される部分での、腔の局所的な幅に依存することが好ましい。

本発明の好ましい実施形態において、本方法は、少なくとも前記開始点と終了点間の自動的な経路決定の、自動的な繰返しを含む。

【0043】

本発明の好ましい実施形態において、本発明は、前記経路決定についての少なくとも一つのユーザー提供の制限の提供を含む。自動的な繰返しは、少なくとも一つのユーザー提供の制限に応じた、自動的な経路決定の自動的な繰返しを含むことが好ましい。代替として又は追加として、前記少なくとも一つの制限は、厳格な制限を含む。代替として又は追加として、前記少なくとも一つの制限は、柔軟な制限を含む。代替として又は追加として、本方法は、ユーザーに対するどの制限が満たされないかの表示を含む。

【0044】

本発明の好ましい実施形態において、本方法は、前記経路決定のためのデータ粒度レベルの選択を含む。代替として又は追加として、自動的な経路決定は、点に対するペナルティ関数の値を求めることを含む。前記ペナルティ関数は、前記腔の境界からの点の距離に依存することが好ましい。前記ペナルティ関数は、境界からより遠い点に対してより低いのが好ましい。代替として又は追加として、前記ペナルティ関数は、前記境界へ接近するときかなりの増加の比率を有する。代替として又は追加として、前記ペナルティ関数は、前記境界から遠くで低い変化の比率を有する。代替として又は追加として、本方法は、データセットの浸食 (erosion) による前記距離の決定を含む。代替として、本方法は、前記腔の境界からの波動伝搬による前記距離の決定を含む。

【0045】

本発明の好ましい実施形態において、前記経路決定は、比較的短い経路の決定を含む。前記比較的短い経路は、様々な位置に関連付けられたペナルティ値を考慮に入れた最短の経路を含むのが好ましい。代替として又は追加として、自動的な経路決定は、少なくとも腔の一部を表すグラフの生成を含む。前記経路は前

記グラフに経路探索方法を適用することによって決定され、前記グラフの前記一部分は、前記方法によって要求されるときにのみ生成されるのが好ましい。代替として又は追加として、自動的な経路決定は、前記グラフについてのDijkstraの最短経路探索方法を用いた経路の決定を含む。代替として又は追加として、前記グラフは、前記腔の中のボクセル (voxel) の部分セットのみを含む。前記グラフは、概ね前記腔のスケルトンのみを含むのが好ましい。好ましくは、前記スケルトンは、前記腔の浸食からのデータを利用して見つけられ、浸食は前記境界からの内部の点の距離を決定するために利用される。

【0046】

本発明の好ましい実施形態において、前記データセットは、ボクセルで表される。代替として又は追加として、前記境界は、ポリゴンで表される。代替として又は追加として、前記データセットは、CTデータセットを含む。代替として又は追加として、前記データセットは、MRIデータセットを含む。代替として又は追加として、前記データセットは、NMデータセットを含む。

【0047】

本発明の好ましい実施形態において、前記境界は、その中に小さな穴を有し、前記経路はあらかじめ定められた幅よりも狭い穴を通過しない。前記前記あらかじめ定められた幅は、前記腔の形態に依存するのが好ましい。

【0048】

したがってまた、本発明の好ましい実施形態によって提供されるのは、経路探索の方法であって、

複数の湾曲部と境界を有する腔を表す医療データセットの提供と、

少なくとも開始点と終了点を含む前記データセットの複数の点の提供と、

前記開始点と終了点間の自動的な経路決定とを含み、

前記経路は、少なくとも二つの前記湾曲部において、前記腔のほぼ中央軸にとどまらず、かつ前記境界に対するあらかじめ定められた距離よりも近くには接近しない。

【0049】

前記データセットはボクセルを用いて表され、前記経路は前記境界に対して1

ボクセルより近くには接近しないのが好ましい。代替として、前記データセットはボクセルを用いて表され、前記経路は前記境界に対して3ボクセルより近くには接近しない。代替として、前記データセットはボクセルを用いて表され、前記経路は前記境界に対して、前記腔の局所的な幅の10分の1より近くには接近しない。代替として、前記データセットはボクセルを用いて表され、前記経路は、前記境界のあらかじめ定められた幅より狭い穴を通過しない。

【0050】

したがってまた、本発明の好ましい実施形態によって提供されるのは、腔とその境界を含むデータセットのスケルトン化の方法であって、

増加する半径 R の球を用いる、前記腔の浸食と、

前記浸食を利用した、前記境界からの前記腔の内側の点の距離の決定と、

それぞれの半径 R ごとに、半径1の球を用いて、前記浸食された腔を広げることと、

スケルトンを形成するために、前記広げることによる前記浸食された球から取り去られた点の蓄積とを含む。

【0051】

好ましくは、球 R による浸食は、半径 $R-1$ の球を用いた浸食の結果の、半径1の球を用いた浸食を含む。

【0052】

したがってまた、本発明の好ましい実施形態によって提供されるのは、経路立案の方法であって、

腔と境界を表すデータセットの提供と、

少なくとも開始点と終了点とを含む前記データセット内の複数の点の提供と、

前記腔の内部の様々な点の通過に関連付けられたペナルティに応じた、前記開始点及び前記終了点間の自動的な経路決定とを含む。

【0053】

前記ペナルティ関数は、前記腔の幅に応じているのが好ましい。代替として又は追加として、前記ペナルティ関数は、前記経路の局所的な湾曲の量に応じている。代替として又は追加として、自動的な経路決定は、点について前記ペナルテ

ィ関数の値を求めることを含む。前記ペナルティ関数は、前記腔の境界からの点の距離に依存するのが好ましい。前記ペナルティ関数は、前記境界からより遠い点に対してより低いのが好ましい。

【0054】

本発明の好ましい実施形態において、前記経路決定は、比較的短い経路の決定を含む。比較的短い経路は、様々な点に関連付けられたペナルティ値を考慮に入れた最短の経路を含むのが好ましい。代替として又は追加として、自動的な経路決定は、前記腔の少なくとも一部分を表すグラフの生成を含み、前記経路は前記グラフに経路探索方法を適用することによって決定され、前記グラフの前記一部分は前記方法によって必要であるとされるときのみ生成される。

【0055】

[好ましい実施形態の詳細]

図1(a)は、腔14と腔を通る経路16とを含む3次元データセット10の模式的な説明図である。データセット10は、通常、複数の画像スライスから成っているが、多くの場合、経路16をたどって視野原点22から見られるような、データセットの一部を見ることが望まれる。この視野は、ビューポート(view port)26を通して視野照準点24で開始する視野原点22によって定義される。いくつかのケースでは、視野原点と照準点の間の視線を取り囲んで中心になるようにビューポートを記述することがより便利であろう。なお、視野原点に非常に近いボクセル(voxel；三次元化された画素)が見られないように視野が切り取られても良い。正投影で、視野原点は視界の線に沿って多くの場所に存在できるが、通常は、固定された位置が与えられる。図1(b)は、ビューポート26を通して見られる視野28の模式的な説明図である。

【0056】

本発明のいくつかの好ましい実施形態によるシステムは、経路16のようにデータセット10の最良の視野部分であるような、経路立案の自動的及び／又は半自動的方法を提供する。

【0057】

経路16上を進む実際の視野は、複数の変数に影響を受け、それには、

- (a) 視野原点22の軌道、角度方向づけ、及び速度の特性、
 - (b) 視野照準点24の軌道、角度方向づけ、及び速度の特性、
 - (c) サイズ、アスペクト比、歪みのタイプ及び量のようなビューポート・パラメータ、
 - (d) データセット10からのデータといっしょに表示される追加の情報、
- が含まれる。

【0058】

本発明の好ましい実施形態によれば、生成される視野は、診断を助けるように、空間的な方向を維持し、人間の知覚能力及び／又は人間の見る心地よさを考慮に入れる。生成される視野は、腔14、経路16、データセット10、生成される視野の要求される用途、及び／又は、輝度、位置、動き、フォグ(fog)及び距離に伴う減衰を含む望ましい“照明”特性のような特有の性質を考慮に入れることによってより最適に作られる。本発明の好ましい実施形態において、生成される視野は、例えば手術手続きのリハーサルのため又は手術中でさえも、方向づけと組織確認を助けるための、手術の補助として用いられる。

【0059】

本発明の好ましい実施形態において、生成される視野の品質は、それらのそれぞれの点で、特定の基準及び／又は複合の基準に適合することが要求される。代替として又は追加として、全経路が全体として特定の基準に適合しなければならないような、平均の基準が設定される。平均の基準の一つの例が、経路16上の動きの速度を決定するときに現れる。現在の速度特性は、平均の目視品質があらかじめ定められたレベルであるように、ファクター倍される。代替として、経路上の最悪の点が、又は経路のあらかじめ定められたパーセンテージ以下が、望まれる目視品質より低いようにファクターが選択されても良い。

【0060】

図2は、本発明の好ましい実施形態による経路立案方法のフローチャートである。好ましくは少なくとも開始点18と終了点20(図1(a))を含む、複数の目標点を選択される(30)。代替として又は追加として、目標点に対して以下で述べる別の制約が入力されても良い。必要とされる経路立案作業に応じて、

その後データは、例えば、粒度を選択することにより、又はデータを腔と腔でない組織とにセグメント化することにより、前処理されるのが好ましい（32）。本発明のいくつかの好ましい実施形態において、前処理の少なくとも一部分、例えばセグメント化は、制約の選択に先行して実行される。

【0061】

対象内で、通常、腔の境界は区別されるけれども、多くの医療画像化テクニックは、薄い境界組織を区別する十分な解像度を持たない。むしろ境界は、一方の側が腔の内部のボクセルのみを含み、もう一方の側が腔の外部のボクセルのみを含む数学的な面として扱われる。したがって、内部ボクセルと外部ボクセル間のいかなる移行も、境界を貫かなければならない。

【0062】

本発明の好ましい実施形態において、経路を決定する前又は途中で、腔の少なくともいくつかのボクセルについてペナルティ関数（penalty function）の値が求められる（34）。このように、同じ腔において複数の経路立案セッションのために一度だけその値を求めることが必要とされる。しかしながら、本発明のいくつかの好ましい実施形態において、ペナルティ関数は、経路を決定する間値を求められる。代替として、ペナルティ関数は、経路についての少なくともいくつかの制約の選択に先立って値を求められても良い。本発明の好ましい実施形態において、ペナルティ関数は腔の典型的な幅に基づいている。本発明の一つの好ましい実施形態において、その典型的な幅は全体的に定義される。典型的な幅は、侵食（erosion）のために用いられる最大半径の半分と、半分のボクセルのみ浸食されずに残存する為に必要な侵食のステップの数の平均値であることが好ましい。代替として、例えば、現在のボクセル（局所的な典型的な幅が決定されている）を含む最大の球に含まれるボクセルのみでの平均により、典型的な幅は局所的に定義される。典型的な幅が5である、本発明の好ましい実施形態において、ペナルティ関数は、境界からの距離について以下の依存を持っている。

【0063】

【表1】

距離	1	2	3	4	5	6	7	$n > 7$
ペナルティ	30,000	4,000	800	500	300	200	170	$170 \cdot 0.95^{(n-7)}$

【0064】

本発明の好ましい実施形態において、ペナルティ関数は、要求されたときのみ値を求められ、全体のデータセットについてあらかじめ計算されない。本発明の一つの好ましい実施形態において、円弧が接続され、必要なときにのみ渦巻きがグラフに加えられ、またそのときにだけペナルティ関数は値を求めることが必要になる。さらに、特に、データがポリゴンの表現で格納されるならば、距離もまたのろい求値テクニックを用いて計算されても良い。

【0065】

ペナルティ関数を用いることにより、経路が決定される(36)。特定のボクセルが、利用できる他の近傍のボクセルと比較して、そのボクセルの相対的なペナルティ次第で経路に含まれる。その経路は、短い経路を探索するためのDijkstraの方法を用いて決定されるのが望ましい。この実施形態において、ペナルティは、現在のボクセルを経路の成長端に接続する円弧を重み付けとして考慮に入れるのが好ましい。この方法は、A. V. Aho, J. E. Hopcroft及びJ. D. Ulmanによる、“Data Structures and Algorithms”(pp. 203-208, 1983年, Addison-Wesley出版)に記載されており、その開示は参照によって本明細書に組み込まれる。例えばペナルティが経路の鋭い湾曲部に対応付けられる本発明のいくつかの好ましい実施形態において、ペナルティ関数は経路の関数であり、よってそれは経路の決定といっしょに値が求められなければならない。本発明のいくつかの好ましい実施形態において、他のタイプの経路決定方法が用いられる。なお、いくつかのケースでは、たとえペナルティ関数に関してでさえも最短の経路は見つからないであろう、むしろ非常に短い経路は見つかるであろう。

【0066】

図3は、本発明の好ましい実施形態による、好ましくは低い総ペナルティを持つ、2つのボクセルの間の短い経路を見つける方法のフローチャートである。経

路が通過することのできるボクセルは、それぞれのボクセルが渦巻きであり、円弧は隣接したボクセルを接続することを規定されるグラフを構成する。本発明の好ましい実施形態において、円弧の重み付けは、ペナルティ関数によって決定される。追加として又は代替として、重み付けはボクセルの中心と中心の実際の距離を考慮に入れても良いが、本発明のいくつかの好ましい実施形態において、隣接するボクセル間の距離が単位距離であると定義される。本発明のスケルトン化 (skeletonization) する実施形態において、円弧の重み付けは、スケルトン (skeleton) からの2つのボクセルの間にある全てのボクセルに関連付けられたペナルティを考慮に入れることが好ましい。代替として、1つ又は両方のボクセルでのペナルティは、ボクセル間の距離倍される。本発明のいくつかの好ましい実施形態において、ペナルティ関数は、特定のボクセルを通過する経路の望ましきよりむしろ、2つの隣接するボクセル間を進行する経路の望ましきを記述する。本発明のいくつかの好ましい実施形態において、いくつかのボクセルはそれらに対応付けられるペナルティは無い。

【0067】

図2に戻って参照すると、経路が決定された後、それは平滑化されるのが好ましい(38)。本発明の好ましい実施形態によれば、平滑化の量は、経路が通過する通路の幅に依存する。例えば、平滑化された経路が境界を過ぎる危険を減らすように、非常に狭い通路では経路は平滑化されない。

その後、経路を完全に定義するように、ビューポートの動きやビューポート・パラメータのような目視パラメータが決定される(40)。

【0068】

上述の方法は、多くのやり方でインプリメントされる。通常、正確さと計算時間の間にはトレードオフが存在する。いくつかのケースでは、インプリメンテーションの複雑さに伴うトレードオフもまた存在する。正確さと計算時間の間のトレードオフの一例は、経路決定に用いられるデータセットの粒度である。データセット粒度を減少させることはボクセルの数を減少させ、またしたがってこの方法を適用するために要求される計算時間を短くする。データの粒度は、固定の比率でボクセルのサイズを増やすことによって、また新たなボクセルにデータセッ

トを再び入れ込むことにより減じられても良い。代替として、データのそれぞれの部分が異なる粒度を与えられる。本発明の好ましい実施形態において、ユーザーは、いくつかの粒度の選択を提供される。

【0069】

なお、データ及び又は計算の粒度が変更されても良い、方法のいくつかのステップがあり、同一の粒度が全てのステップで用いられる必要はない。例えば、本発明の好ましい実施形態において、以下で述べるように、距離関数は腔の侵食によって値を求められる。粒度は、最少の球サイズ及び／又は半径増加を選択することにより設定され、それにより計算時間は減少されるが、決定される距離の質（正確さ）が減少される。追加として又は代替として、球の半径サイズ及び増加のパラメータは、以下で述べる、スケルトン化ステップのために設定される。追加として又は代替として、本発明の好ましい実施形態において、例えば隣接するボクセルを平均することにより又は以下で述べるスケルトン化により、Dijkstraの方法に用いられるグラフにおいて全てのボクセルが渦巻きとして用いられるわけではない。上述の粒度決定のそれぞれにおいて、粒度は、局所的な通路幅のような局所的な特徴に依存させられる。

【0070】

図4は、本発明の好ましい実施形態による、腔内のそれぞれの点と腔の境界の間の距離関数の計算方法のフローチャートである。本発明の好ましい実施形態において、距離関数は、増加する半径の球を持つデータセットのコピーの侵食によって計算される。最初に、腔内の全てのボクセルは、距離ゼロが代入される。このことはまた、半径ゼロの球を用いた侵食によって行われても良い。侵食半径 r は、好ましくはゼロであるが恐らく1又は2のような他の小さな値である、最少の侵食半径に設定される（48）。次に、腔は、侵食半径の球で侵食される（50）。腔内で全ての侵食されていないボクセルは、距離 r が代入される（52）。このプロセスは、残る内部のボクセルがあるならば、増加された半径 r を用いて繰り返される（54）。好ましくは、半径の増加は1であるが、好ましくは粒度変更の方法として、他の増加が用いられても良い。

【0071】

本発明の好ましい実施形態によれば、半径 r の球を用いた浸食は、半径の和が r である複数の球を用いた浸食によって近似される。好ましくは、浸食プロセスの少なくともいくつかのステップは、半径 r の単一の球で元の腔を浸食することによるよりもむしろ、小さな半径の球で以前のステップの結果を浸食することにより実行される。好ましくは小さい半径の球は半径 1 であり（又はいくつかの他の粒度）、使用される以前のステップは直前のステップである。なお、 $(D-1)/2$ のみが浸食されるので、半径 1 の球は 3 ボクセルの直径 D を有する。いくつかのケースでは、このような小さな球の使用は、ボクセルの離散的な性質のために、アーチファクト (artifact) を起こすであろう。好ましくは、異なるタイプの球が、浸食ステップの代替の為に用いられる。本発明の好ましい実施形態において、3 タイプの半径 1 の球、完全な $3 \times 3 \times 3$ 立方の球、6 つの近隣ボクセルを持つ中心ボクセル（“十字形”球）、及び角が“切断”された $3 \times 3 \times 3$ 立方が用いられる。球の種類は、好ましくは次の順番、{十字形, 完全, 切断, 十字形, 完全, 完全, 十字形, 切断, 完全, 十字形, 十字形, 完全, 十字形, 十字形, 完全, 十字形, 十字形, } で交代され、この列は反復 {完全, 十字形, 十字形} で繰り返される。

【0072】

本発明の好ましい実施形態において、内部ボクセルと境界との距離は、腔の境界からの波動伝搬を用いて計算される。好ましくは、ボクセルを用いてグラフが作られ、幅の最初の調査がグラフ上で実行される。半径 1 の球が、渦巻きの近隣を決定するために用いられるのが好ましい。代替として又は追加として、距離は、Dijkstraの方法を用いて計算される。好ましくは、ボクセルの中心と中心の距離の単位の値を合計することによるよりも、概算の実際の距離が計算される。距離データは、浮動小数点表現を用いて表現されるのが好ましい。

【0073】

本発明の好ましい実施形態によれば、組織は、経路が必ず通過する腔内部ボクセルと、経路が通過しないであろう腔の境界のボクセルとにセグメント化される。代替として、セグメント化されたデータセットが提供される。本発明の好ましい実施形態において、境界及び内部セグメントは、当技術分野で良く知られるよ

うに、CT番号及び／又は連結度 (connectivity) に基づいて識別される。スレシヨールディング (thresholding) を用いたセグメント化が、例えばT. Y. Yong及びK. S. Fuによって編集された、“Handbook of Pattern Recognition and Image Processing” (Academic Press, pp. 224-225) に記述されており、その開示は参照によって本明細書に組み込まれる。代替として、当技術分野でよく知られる他の方法がセグメント化を達成するために用いられても良い。特に好ましい、データセット10が複数の異なる組織の種類にセグメント化される、本発明の好ましい実施形態において、ユーザーは、組織が内部であること、またそれが外部であることをシステムに指示する。代替として、ユーザーは、腔の境界で組織を指し示し、外部組織のボクセルとしてそれにマークする。なお、外部ボクセルは空のボクセルでないことが必要である。例えば、外部組織とみなされる、骨を取り巻く脂肪と筋肉の組織を持つ骨を見てまわる経路が立案され得る。

【0074】

本発明の好ましい実施形態において、セグメント化は、スレシヨールディング (thresholding) や連結度 (connectivity) のようなツールを用いてマニュアルで実行される。好ましくは、組織は連結度決定のために浸食され、小さな誤りは平滑化される。

【0075】

本発明の好ましい実施形態によれば、ユーザーは、自動的な経路生成のための可能性の範囲を限定するために用いられる様々なパラメータを入力する。本発明の好ましい実施形態によれば、少なくともいくつかのパラメータは、厳格な制約が関連付けられる。代替として又は追加として、少なくともいくつかのパラメータは柔軟な制約が関連付けられ、それはいくつかの他のパラメータでトレードオフされる。このトレードオフは、異なる制約の相対的な重み付けを含んでいる、複合の経路等級分け関数を定義することにより達成されるのが好ましい。柔軟な制約は、等級分けされたペナルティ関数を用いて定義されるのが好ましい。厳格な制約は、制約が違反されたときに無限のペナルティに達するペナルティ関数を用いて定義されるのが好ましい。ペナルティ関数は、制約が違反されなければ、ゼロペナルティを持つのが好ましい。代替として、ペナルティ関数は、違反され

ることの無い場面で柔軟な制約とみなされるように、違反されることの無い場面のためにもまた等級分けされる。本発明の好ましい実施形態において、制約の違反及び／又は部分的な違反による複数のペナルティを合計することにより、ボクセルのペナルティが決定される。

【0076】

本発明の好ましい実施形態によれば、システムは、ユーザーが選択し及び／又は修正することのできる制約／入力パラメータの複数のセットを格納する。これらのセットの少なくともいくつかは、特定のタスクで最良の経路を提供するように設計される。本発明の一つの好ましい実施形態において、物理的な内視鏡を用いることによってもたらされる制約に適合する経路の生成を生じさせるセットが定義される。好ましくは、内視鏡をシミュレートするとき、経路は、特定の内視鏡及びその内視鏡がその壁を押している通路の幅とに依存する最大の湾曲に限定される。好ましくは、このような内視鏡の目視特性はまた、ビューポートによって及び／又は画像生成の間シミュレートされる。これらの目視特性は、内視鏡のレンズタイプを含むのが好ましい。

【0077】

本発明の好ましい実施形態において、以下で述べるパラメータの少なくともいくつかはユーザーによって入力されても良い。

- (a) 粒度、好ましくは局所的な粒度を決定するためのパラメータを含む。
- (b) 許容される壁からの経路の距離
- (c) あらかじめ定義されたパラメトリック (parametric) ・ペナルティ関数及び／又は距離関数の組合せの一つにパラメータとして入力されるか、又はルックアップテーブルとしての、ペナルティ関数。
- (d) 好ましくは、例えば通路幅のような、通路の形態に応じた平滑化の制限を含む、平滑化の望まれる量及び／又はタイプ。
- (e) 好ましくは、最大限の望まれるねじれ及び他のタイプのビューポートの動き、視野、視野の歪み、形、及び視野のアスペクト比を含み、好ましくは、様々な侵襲性の器具の光学的な固有性に対応する一組として取りまとめられる目視パラメータ。

(f) 好ましくは、経路依存のペナルティ関数を含む、侵襲性の器具の機械的な固有性のシミュレーションのためのパラメータ。

(g) カラー、疑似カラー方式、シェーディング、照明及びその経路、反射、及び組織の透過性のような、レンダリング及び表示パラメータ。

【0078】

本発明の好ましい実施形態によれば、ユーザーは、生成される視野の品質によって意味されるものが何かを定義し及び／又は決定するパラメータを提供しても良い。このようなパラメータは、とりわけ、知覚の考慮、作業特有の考慮、及び／又は視野の快適さの考慮によって決定される。なお、視野の品質は、一般に、上記の列記されたパラメータによってもまた影響される。本発明の好ましい実施形態において、これらのパラメータは、

- (a) 許容される最大スピード
 - (b) 許容されるビューポートのねじれ比率
 - (c) 様々な目視パラメータの最大の許容される変化
 - (d) 恐らくは腔の内部表面の全体であろう、ユーザーがこのような最適なパラメータで見たいと望むデータセットの部分
- の少なくとも一つを含む。

【0079】

本発明の好ましい実施形態において、経路と、ビューポート原点及び／又はビューポートの角度方向づけは、見たいと望まれる部分が快適な目視パラメータの範囲にあるように自動的に生成される。

【0080】

本発明の好ましい実施形態において、生成された経路は、表示の小刻みな動きを減じるために平滑化される。上記望まれる目視品質パラメータの少なくともいくつかは、平滑化の結果として適合される。好ましくは、平滑化の後、経路は、境界ボクセルに接近し過ぎて通っていないかどうか及び／又は他の制約に違反していないかどうかを決定するために分析される。経路は、腔の境界に非常に近い経路の部分で及び／又は狭い通路内では平滑化されないのが好ましい。代替として又は追加として、異なるタイプの平滑化が、経路の特性及び／又は腔の形態及

び／又は通路幅に応じて適用される。

【0081】

本発明の好ましい実施形態によれば、平滑化は、点とその近隣点の線形結合である。好ましくは、それぞれの側の一つの近隣点を用いられ、相対的な重み付けは{0.3, 0.4, 0.3}である。本発明の好ましい実施形態によれば、好ましくは7回、全体の経路が多数回平滑化される。境界に対するあらかじめ定められた距離よりも近い経路の部分は、平滑化されないのが好ましい。代替として又は追加として、点が平滑化される回数及び／又は用いられる重み付け及び／又は平滑化のタイプは、境界からの距離に依存する。平滑化は、目標点では実行されないのが好ましい。代替として、平滑化は、少なくとも開始点及び終了点では実行される。

【0082】

本発明の好ましい実施形態において、目視パラメータの少なくとも一つもまた、その値の変化がより滑らかであるように平滑化される。本発明の一つの好ましい実施形態において、望ましい角度解像度が、データセット10の様々な部分の目視のために要求される。好ましくは、このような角度の視野が、その視野において変更を要求されたとき、視野におけるこれらの変更は平滑化される。

【0083】

本発明の好ましい実施形態において、視野照準点は、視野原点の前方の経路の点に選択される。視野照準点の位置は、視野原点の局所的な湾曲に応じて及び／又は境界への距離に応じて決定されるのが好ましく、すなわち、2点間の距離は、局所的な湾曲に反比例して依存し、また境界への距離に比例する。その結果、経路の窮屈な部分で、視野照準点は視野原点に比較的近く、そしてそのように、滑らかな目視角度が得られる。代替として又は追加として、視野照準点位置は、経路、及び／又は投影された視野照準点での境界の特徴、及び／又は先の経路の部分に依存されても良い。

【0084】

全てではないにしてもほとんど全ての医療画像において、ノイズの存在が非常に重要な問題点である。通常、低いノイズレベルでの画像の取得は、患者の露光

量を増やしてイオン化し及び／又はさもなければ危険な放射線を増やす。また、多くの医療画像には様々なタイプのアーチファクト（artifact）が存在する。ノイズによって起きる一つの問題は、腔の境界が、ノイズ値が置き換わったり又は元のものを变化させたりした外部ボクセル値である穴をその内部に有するであろうことである。本発明の好ましい実施形態において、経路がこのような穴を通過するために、境界のボクセルに非常に接近して進まなければならないが、距離関数の機能としてそれは極めて“好ましからざること”なので、このような穴は無視される。

【0085】

一つの問題の状況は、腸に特有であるような、二つの腔が互いに接近して進むときである。ノイズの付加及び／又は部分的な量のアーチファクトは、2つの腔の間の境界を特定の位置で見えなくする。しかしながら、本発明の好ましい実施形態によれば、境界の小さな無くなった部分を通過するためにペナルティ費用が支払われなければならないので、それらは無視される。本発明のいくつかの実施形態において、経路は通常、境界に接近して進まないで、及び／又は境界の組織の小さな変化によっては影響されないで、部分的な量の効果によって起きる腔の増大及び／又は歪みは、本発明のいくつかの実施形態における結果物ではない。

【0086】

恐らくノイズによって起こされるであろうもう一つの問題は、腔の空間の中心での外部組織ボクセルの生成である。本発明の好ましい実施形態において、他の外部組織ボクセルから間隔を置いた外部組織ボクセルの小さなグループは、距離計算の間のような経路立案の様々なステップの間、及び／又は、経路がそのボクセルを通過することを許容することにより、無視される。これらのボクセルの範囲と隔離の数字は、アルゴリズムのパラメータであるのが好ましい。追加として又は代替として、好ましくは疑われたノイズボクセルのグループ分け次第で、これらのボクセルはセグメント化の間除去される。

【0087】

本発明の好ましい実施形態によれば、経路決定の間、腔内の全てのボクセルが

考慮はされない。むしろ、ボクセルの部分セットのみが考慮される。この部分セットは、腔のスケルトンを作ることにより生成されるのが好ましい。

【0088】

図5(a)は、本発明の好ましい実施形態によってスケルトン化された腔60の模式的な説明図である。スケルトン化は、例えばE. R. Doughertyによる“An introduction to Morphological Image Processing”(SPIE Press, 1992, pp. 42-48)に記載され、その開示は参照によって本明細書に組み込まれる。体のスケルトンは、体によって束縛され、また他のそのような束縛された球に属しない(重なり合いは許される)最大球の中心の点の集合として定義される。このようなスケルトンは、一般に、体の形態上の特徴を保持する。図5(a)には、最大球の小さな部分セット64のみを含む2次元スケルトン化が示される。スケルトン62は、一般に体の輪郭に従う点の集合である。本発明のいくつかの好ましい実施形態において、スケルトンに重なり合うか又はスケルトンから特定の半径範囲にあるボクセルのみが、経路のために考慮される。本発明のいくつかの好ましい実施形態において、この半径は、腔の局所的な形態に依存しても良い。一度経路が決定されると、本発明のいくつかの実施形態において、スケルトンのボクセルの間に位置するであろう視野原点を提供するために、それは通常、補間され及び/又は再びサンプルを抜き出されることが必要になる。代替として又は追加として、決定された経路は平滑化され、その結果、スケルトン以外からのボクセルを含んでも良い。

【0089】

本発明の好ましい実施形態において、スケルトンのボクセルからグラフが生成される。本発明の好ましい実施形態において、スケルトンのそれぞれのボクセルについての近隣のボクセルを定義することによりグラフの円弧が生成される。特定のボクセルのあらかじめ決められた距離範囲内のスケルトンの全てのボクセルが、その特定のボクセルに結び付けられるのが好ましい。代替として又は追加として、距離は、隣接するボクセルの数に応じて決定される。代替として又は追加として、距離は腔の形態に応じて決定される。

【0090】

本発明の好ましい実施形態において、グラフの一部分は、実際に必要とされるときにのみ、のろまな求値テクニックを用いて作られる。

図5 (b) は、本発明の好ましい実施形態による、スケルトン化の方法についてのフローチャートである。この方法は、半径 r の球で先行して浸食されたデータセットを半径 1 の球で広げることと等価になっている、半径 r を持つ最大の球に基づいている。広げることは、浸食とその後の膨張すること（層を加えること）から成る複合のプロセスである。したがって、本発明の好ましい実施形態によれば、スケルトンは、入力として部分的に浸食されたデータセットを利用して、距離関数と同時に生成される。図において、スケルトン化開始の半径はゼロに設定される (70)。浸食を伴うとき、ゼロ以外の値が選択されても良く、それらはスケルトンの精度に影響し及び／又は腔の形態を平滑化するかもしれず及び／又はノイズの影響を減らす。半径 r の球で浸食された組織 (72) は、半径 1 の球で広げられる (74)。広げる操作によって取り除かれるボクセルは、半径 r の球の中心に対応し、好ましくは蓄積され、スケルトンに加えられるのが好ましい (76)。なお、広げることには、浸食とその後の膨張が含まれる。上述の浸食のプロセスはまた、半径 r のボールでの浸食の結果についての半径 1 のボールを用いた浸食の影響を含むデータセットを生成する。

【0091】

本発明のいくつかの好ましい実施形態において、データセットは、ボクセルを用いることの代替として又は追加として、境界の表面を記述するポリゴンで表される。好ましくは、腔の内部は、3Dペイント機能を用いて決定され、及び／又はセグメント化によって理解されても良く、及び／又はポリゴンデータが画像データから生成されたときに決定されても良い。決定はグリッド上の点について行われるのが好ましい。距離の計算が、同じグリッドを用いて実行されても良い。腔内部のグリッド上のそれぞれの点について、最も近いポリゴンまでの距離が決定される。好ましくは、また特にポリゴンが制限されたサイズを持つ場合に、位置の関数が、検査されるポリゴンの数を限定するために用いられる。本発明の好ましい実施形態において、特定の距離を超える全ての境界までの距離が同じペナルティ値を有するペナルティ関数が定義される。したがって、その距離範囲内に

ポリゴンが存在しないならば、さらに見て距離を計算する必要はない。それにより、経路探索方法が、決定された距離関数を用いてグリッド点に適用されても良い。計算された距離は、グリッドのスケルトンを決定するために用いられるのが好ましい。

【0092】

本発明の好ましい実施形態において、ビューポートが、経路上の視野照準点の方向に向けられる。代替として又は追加として、視野照準点は、異なる軌道上で移動される。本発明の好ましい実施形態において、視野照準点は、見る方向が概ね経路に垂直になるように、経路16を取り囲んで渦巻き状になる。このタイプの経路は、例えば結腸鏡検査法に対してのように、腔の内部の慎重な探査に対して有効である。概ね垂直な角度に対する代替として、特に連続する画像間の重なり合い及び／又は渦巻きの部分を保証するため、他のいかなる角度が用いられても良い。全ての別々に生成されるフレームの軸ができるだけ並行に作られても良いように、ビューポートもまたわずかにひねられるのが好ましい。

【0093】

本発明の好ましい実施形態によれば、表示されないか又は望ましいパラメータで表示されない、データセット10の一部が、ユーザーに表示される。本発明の一つの好ましい実施形態において、それらは、好ましくは平面表示又は3次元透視表示で、内視鏡視覚表示とは別に表示される。代替として又は追加として、これらは、リアルタイム仮想内視鏡検査の表示の記号に重ね合わせられる。

【0094】

本発明の好ましい実施形態によれば、視野は、例えば、その開示が参照によって本明細書に組み込まれる、1998年2月23日に出願された、出願人S. AkermanとG. Millerによる米国仮出願、タイトル“Raycasting System and Method”に記述されるように、レイキャスティング(raycasting)方法を用いて描写される。そこには決定された距離よりも近い外部ボクセルは存在できないので、経路上のそれぞれの点について決定された境界からの距離は、レイキャスティング・アルゴリズムの低い限界として用いられるのが好ましい。

【0095】

上記方法は、経路の全ての側面についての立案を含むように記述されているけれども、本発明の好ましい実施形態において、上述の方法は、側面のほんのいくつかに対してのみ用いられる。代替として又は追加として、ステップの順序が変更されても良く、及び／又はサブステップに分離され及び／又は結合される。本発明の好ましい実施形態において、重い計算を遅らせるため及び／又はメモリ要求を可能な限り減らすため、のろい求値テクニックが用いられる。このような計算には、ペナルティ関数の値を求めること、及び／又はグラフを作ることが含まれる。

【0096】

本発明の好ましい実施形態において、ユーザーは、本発明の好ましい実施形態によって生成される経路を見ている間、様々な目視パラメータのリアルタイムのコントロールを実行する。このようなパラメータは、位置、移動及び距離の関数としての減衰、スピード、凝視の方向、凝視の角度、視野のサイズ、及びアスペクト比を含む。

【0097】

本発明のいくつかの好ましい実施形態によれば、ここに記述されたいくつかの方法が、反復の方法で適用される。本発明の一つの好ましい実施形態において、ユーザーは制約を入力し、システムはこれらの制約に適合しようと試みる経路を生成し、その後ユーザーは恐らく、生成された経路及び／又は生成された視野の品質に基づいてこれらの制約を変更するであろう。好ましくは、距離計算のような少なくともいくつかの計算は、一度だけ実行され、それぞれの反復を繰り返されない。追加として、全ての制約がそれぞれの反復に入力される必要がないことが好ましい。ユーザー入力の制約の一例は、経路が通過することが望まれる点の集合である。

【0098】

追加として又は代替として、上述の方法は、特に経路の平滑化及び／又は目視パラメータの計算のために、他の方法で生成され及び／又はユーザーによって入力された経路に対して、後処理ステップとして適用されても良い。本発明の一つの好ましい実施形態において、最善の目視角度と速度のみが、固定の経路のため

に決定される。本発明の好ましい実施形態において、方法は、経路の（好ましくは小さな）集合から経路を選択するために用いられる。追加として又は代替として、特にユーザーが既存の経路を修正した後又はそれが平滑化されたならば、どのユーザー選択の制約が違反されたかを決定するため、及び／又は経路に目視品質の等級を対応付けるため、上述の方法が、既存の経路の値を求めるために適用されても良い。方法は、これらの経路の一つを選択するユーザーを補助するために、可能性のある経路を等級分けすべく用いられる。

【0099】

本発明の好ましい実施形態によれば、既存の経路は、含まれるボクセル及び経路からの特定の距離範囲内のボクセルのみを含むグラフを生成することにより、及びグラフに経路探索方法を適用することにより、最適化されても良い。グラフの幅は、腔の局所的及び／又は典型的な幅に依存されても良い。

【0100】

なお、ここに記述された方法はまた、既存の経路の中心に目標点を加えるために、及び／又は二つの経路を滑らかにつなぐためにも用いられる。いくつかのケースでは、アルゴリズムの平滑化の部分のみが適用されても良い。代替として、グラフに追加されるべき点を取り囲む領域を含み、及び／又はグラフが接続され経路最適化方法がその（局所的な）グラフに適用されるであろうグラフが生成されても良い。

【0101】

本発明の好ましい実施形態によれば、ユーザーによって入力される目標点は、経路の鋭い湾曲が減少されるように、わずかに移動される。代替として又は追加として、目標点は、もっと望ましい位置にあるように移動される。このような移動は、小さな距離に及び／又は少ない数の次元に限定されるのが好ましい。これらの点は、これらの点が移動される処理の段階に依存して、経路に及び／又は組織の境界に垂直に移動されるのが好ましい。

【0102】

本発明の好ましい実施形態によれば、複数の組織が内部ボクセルに及び／又は外部ボクセルに含まれても良い。追加として又は代替として、少なくとも一つの

組織のタイプは、半透過性であると定義されても良い。追加として又は代替として、ボクセルでの組織のタイプは、ボクセル通過のペナルティに影響を及ぼしても良い。代替として又は追加として、経路は、最少数の組織境界を通過することが望まれる。このことは、好ましくは組織タイプ間の通過に大きなペナルティ（しかし好ましくは無限のペナルティではない）を割り当てることにより達成される。ペナルティは、組織間での境界からの距離の関数であるのが好ましい。

【0103】

本発明の好ましい実施形態において、組織のタイプは、組織のタイプに属する全てのボクセルに対しての1価のビット値を持つ、それぞれの組織タイプ毎のビット量を用いることによって格納される。代替として、それぞれのボクセルは組織のタイプを示す値が割り当てられても良い。理解されるように、いくつかのケースでは、一つのボクセルに複数の組織タイプが割り当てられても良い。

【0104】

本発明の好ましい実施形態において、ペナルティ関数は、異なる組織タイプからの距離に依存する。例えば、組織タイプAについて5ボクセル内であることは、組織Bについて5ボクセル内であることほど望まれなくても良い。組織タイプ毎に異なる距離が計算されるのが好ましい。代替として、最も近い組織までの距離のみが計算される。

【0105】

本発明の好ましい実施形態において、特定の組織は通行のためにあまり望まれなくても良いが、それを通しての通行は許される。好ましくは、ペナルティ関数は、好ましくは外部ボクセルに対してのように、その組織に対して無限大ではない。なお、外部タイプの組織もまた、透過性及び／又は半透過性であっても良い。

【0106】

本発明の好ましい実施形態において、透明色のボクセルを用いて及び／又はボリューム組織を用いて、異なる組織タイプが表示される。

本発明の好ましい実施形態において、2以上のデータセットが登録され、また一緒に表示される。2つのこのようなデータセットは、異なる形式(modality)

を用いて異なる時間に取得されても良く、及び／又は、同じ組織内ではあるがその周期的な動きの異なる局面であっても良い。経路は、全ての腔の交わりによって定義される腔の内部を進むように強制されるのが好ましい。

【0107】

なお、本発明のいくつかの実施形態において、軌道は連続的でなくても良い。例えば、視野原点の軌道は、セグメントから成る。もう一つの例では、視野照準点は、非常にばらばらにされた軌道を有するであろう。しかし、生成された視野は、しばしば順次のやり方で見られるので、言葉の軌跡が、表示の第1フレームから最終フレームまでの視野原点及び又は照準点の進行を記述するために用いられる。また、連続的な軌道でさえも、表示が生成される無限の数の離散的な点から成ることに注目すべきである。

【0108】

なお、上文で多くの特徴を含むものとして記述された、自動経路決定についての上述の方法は、その全てが本発明の全ての実施形態において実践されるわけではない。むしろ、本発明の様々な実施形態が、上述のテクニック、特徴、又は方法、及び又はそれらの組合せのほんのいくつかのみを利用するであろう。さらに、以上の記述は方法に焦点が当てられているけれども、これらの方法を実行する装置もまた、本発明の範囲内にあると考えられる。追加として又は代替として、経路探索の他の方法が用いられても良い。本発明の好ましい実施形態によれば、ペナルティ最適化についての知られた方法が、以上記述されようとして割り当てられたペナルティを考慮して目標点間の最適な経路を決定するために適用される。

当業者によって、本発明がこのように記述されてきたことに制限されないことが理解されるであろう。むしろ、本発明は特許請求の範囲によってのみ制限される。

【図面の簡単な説明】

【図1】

図1(a)は、腔と腔を通る経路とを含む3次元データセットの模式的な説明図であり、図1(b)は、経路上の特定の点に関してビューポートを通して見た視野の模式的な説明図である。

【図 2】

本発明の好ましい実施形態による、経路立案の方法のフローチャートである。

【図 3】

本発明の好ましい実施形態による、2つのボクセル間の短い経路を見つける方法のフローチャートである。

【図 4】

本発明の好ましい実施形態による、腔内部のそれぞれの点と、腔の境界の間の距離関数を計算する方法のフローチャートである。

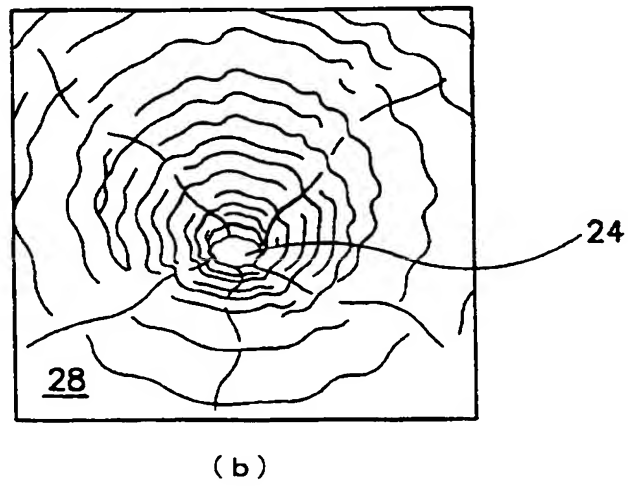
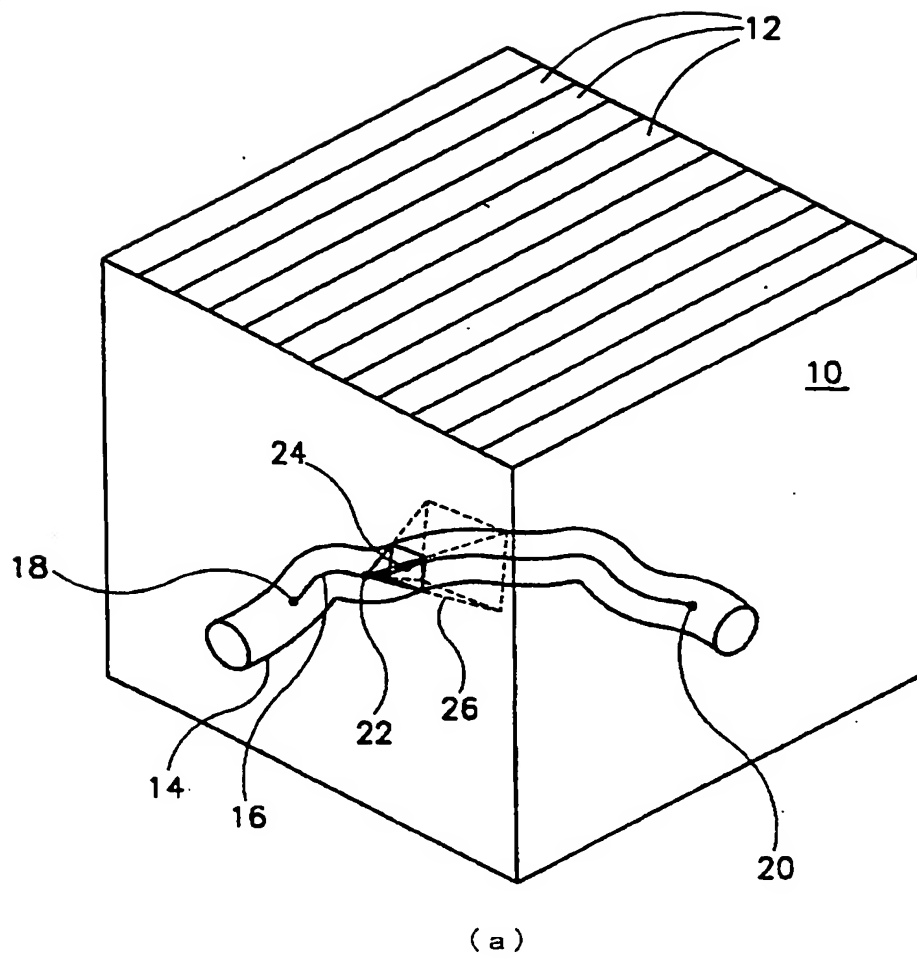
【図 5】

図 5 (a) は、本発明の好ましい実施形態によってスケルトン化された腔の模式的な説明であり、図 5 (b) は、本発明の好ましい実施形態によるスケルトン化方法のフローチャートである。

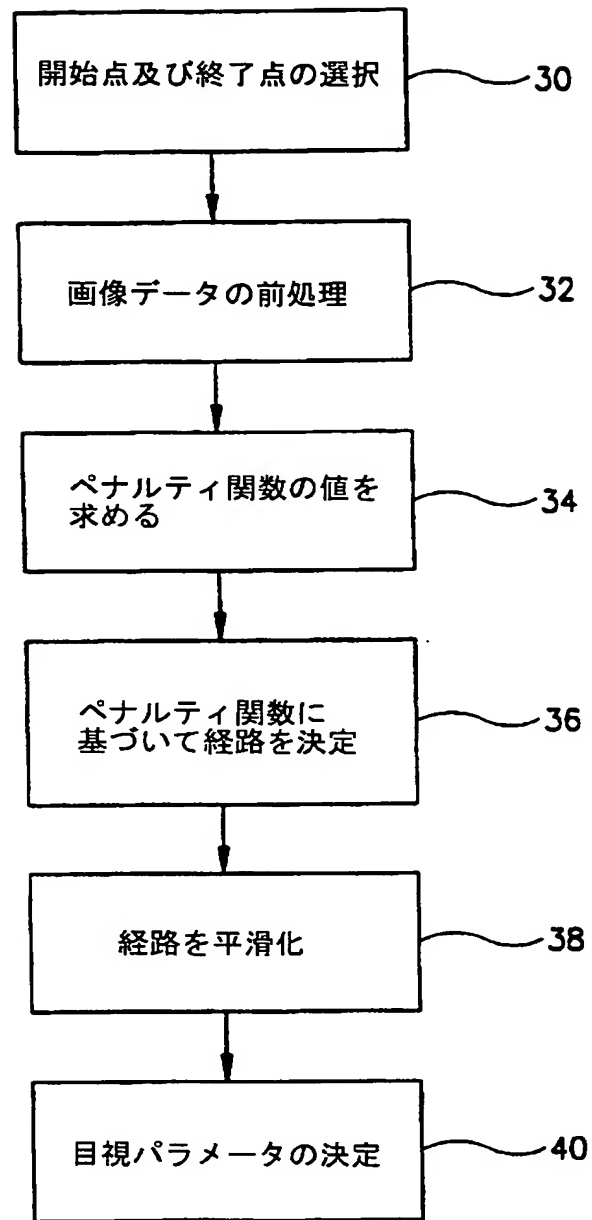
【符号の説明】

- 10 データセット
- 12 画像スライス
- 14 腔 (cavity)
- 16 経路
- 18 開始点
- 20 終了点
- 22 視野原点
- 24 視野照準点
- 26 ビューポート
- 60 スケルトン化された腔
- 62 スケルトン
- 64 部分セット

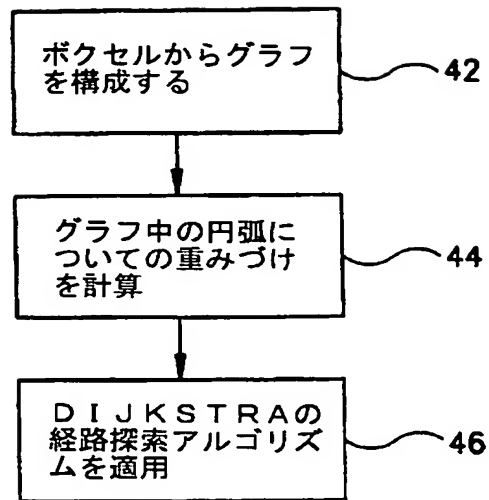
【図1】



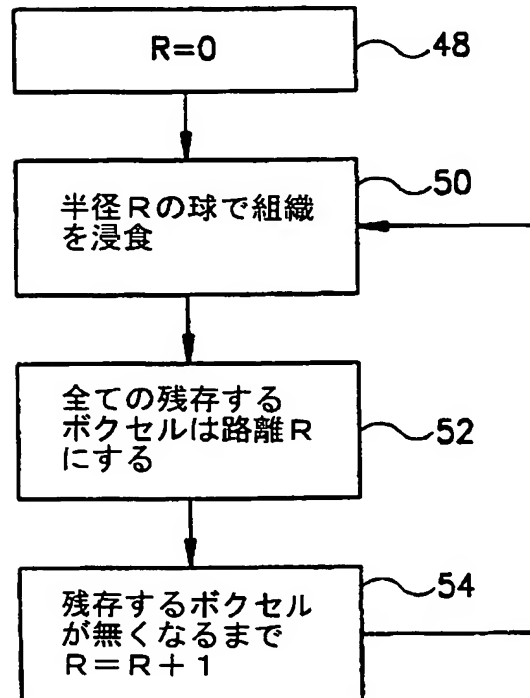
【図2】



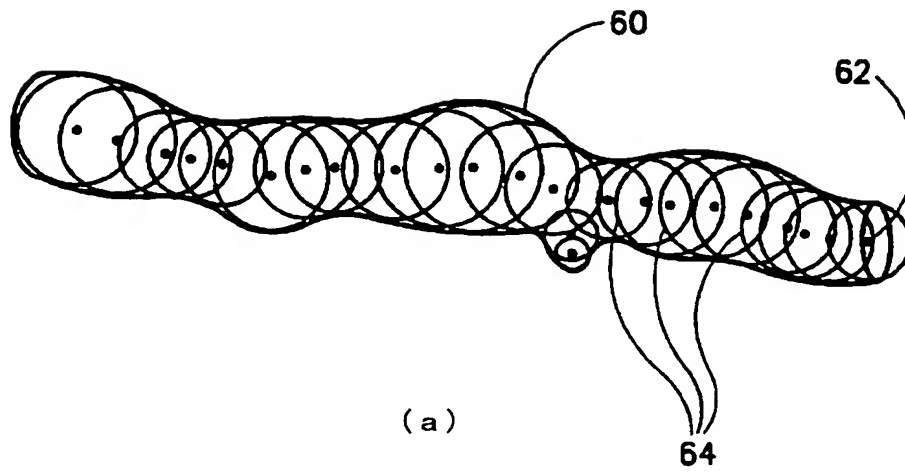
【図3】



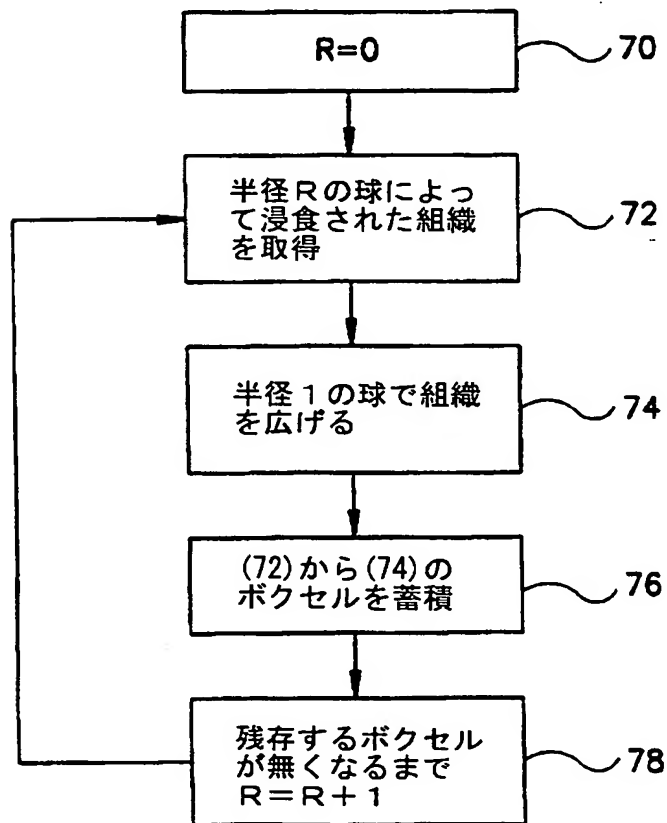
【図4】



【図5】



(a)



(b)

【手続補正書】特許協力条約第34条補正の翻訳文提出書

【提出日】平成11年7月13日（1999. 7. 13）

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】特許請求の範囲

【補正方法】変更

【補正内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】 経路立案の方法であって、
腔（cavity）と境界を表している医療画像化データセットの提供と、
少なくとも開始点と終了点を含む前記データセット内の複数の点の提供と、
前記腔の中の様々な点の通過に関連付けられたペナルティ（penalty）に応じた、前記開始点と前記終了点間の自動的な経路決定と、
を含むことを特徴とする経路立案方法。

【請求項2】 前記ペナルティ関数は、腔の形態に応じていること、を特徴とする請求項1に記載の経路立案方法。

【請求項3】 前記形態は、幅を含むこと、を特徴とする請求項2に記載の経路立案方法。

【請求項4】 前記形態は、局所的な形態であること、を特徴とする請求項2又は請求項3に記載の経路立案方法。

【請求項5】 前記ペナルティ関数は、経路に応じていること、を特徴とする請求項1から請求項4のいずれかに記載の経路立案方法。

【請求項6】 前記ペナルティ関数は、経路の局所的な湾曲の量に応じていること、を特徴とする請求項5に記載の経路立案方法。

【請求項7】 自動的な経路決定は、ビューポート（viewport）の原点の軌道の自動的な決定を含むこと、を特徴とする請求項1から請求項6のいずれかに記載の経路立案方法。

【請求項8】 複数の点の提供は、軌道の提供を含むこと、を特徴とする請求項1から請求項7のいずれかに記載の経路立案方法。

【請求項 9】 自動的な経路決定は、照準点の軌道の自動的な決定を含むこと、を特徴とする請求項 1 から請求項 8 のいずれかに記載の経路立案方法。

【請求項 10】 自動的な経路決定は、ビューポート原点を通して進む経路を基準とする、視線の角度方向づけの自動的な決定を含むこと、を特徴とする請求項 1 から請求項 9 のいずれかに記載の経路立案方法。

【請求項 11】 自動的な経路決定は、腔の局所的な幅に応じた、ビューポート原点を通して進む経路を基準とする、視線の角度方向づけの自動的な決定を含むこと、を特徴とする請求項 1 から請求項 9 のいずれかに記載の経路立案方法。

【請求項 12】 自動的な経路決定は、腔の局所的な湾曲に応じた、ビューポート原点を通して進む経路を基準とする、視線の角度方向づけの自動的な決定を含むこと、を特徴とする請求項 1 から請求項 9、又は請求項 11 のいずれかに記載の経路立案方法。

【請求項 13】 自動的な経路決定は、視野原点の軌道に沿っての少なくとも一つの目視パラメータ (viewing parameter) の自動的な決定を含むこと、を特徴とする請求項 1 から請求項 10 のいずれかに記載の経路立案方法。

【請求項 14】 前記ペナルティは、点から可能な目視品質に依存すること、を特徴とする請求項 1 から請求項 13 のいずれかに記載の経路立案方法。

【請求項 15】 前記目視品質は、人の知覚能力に依存すること、を特徴とする請求項 14 に記載の経路立案方法。

【請求項 16】 前記目視品質は、前記経路を用いて実行される特定の作業に依存すること、を特徴とする請求項 14 又は請求項 15 に記載の経路立案方法。

【請求項 17】 経路の平滑化を含むこと、を特徴とする請求項 1 から請求項 16 のいずれかに記載の経路立案方法。

【請求項 18】 前記平滑化は、前記経路の平滑化される部分での、腔の局所的な幅に依存すること、を特徴とする請求項 17 に記載の経路立案方法。

【請求項 19】 少なくとも前記開始点と終了点間の自動的な経路決定の、自動的な繰返しを含むこと、を特徴とする請求項 1 から請求項 18 のいずれかに

記載の経路立案方法。

【請求項20】 前記経路決定についての少なくとも一つのユーザー提供の制限の提供を含むこと、を特徴とする請求項1から請求項19のいずれかに記載の経路立案方法。

【請求項21】 自動的な繰返しは、少なくとも一つのユーザー提供の制限に応じた、自動的な経路決定の自動的な繰返しを含むこと、を特徴とする請求項19に記載の経路立案方法。

【請求項22】 前記少なくとも一つの制限は、厳格な制限を含むこと、を特徴とする請求項20又は請求項21に記載の経路立案方法。

【請求項23】 前記少なくとも一つの制限は、柔軟な制限を含むこと、を特徴とする請求項20から請求項22のいずれかに記載の経路立案方法。

【請求項24】 ユーザーに対するどの制限が満たされないかの表示を含むこと、を特徴とする請求項20から請求項23のいずれかに記載の経路立案方法。

【請求項25】 前記経路決定のためのデータ粒度レベルの選択を含むこと、を特徴とする請求項1から請求項24のいずれかに記載の経路立案方法。

【請求項26】 自動的な経路決定は、点に対するペナルティ関数の値を求めることを含むこと、を特徴とする請求項1から請求項25のいずれかに記載の経路立案方法。

【請求項27】 前記ペナルティ関数は、前記腔の境界からの点の距離に依存すること、を特徴とする請求項26に記載の経路立案方法。

【請求項28】 前記ペナルティ関数は、境界からより遠い点に対してより低いこと、を特徴とする請求項27に記載の経路立案方法。

【請求項29】 前記ペナルティ関数は、前記境界へ接近するときにかんりの増加の比率を有すること、を特徴とする請求項28に記載の経路立案方法。

【請求項30】 前記ペナルティ関数は、前記境界から遠くで低い変化の比率を有すること、を特徴とする請求項28又は請求項29に記載の経路立案方法。

【請求項31】 データセットの浸食 (erosion) による前記距離の決定を

含むこと、を特徴とする請求項27から請求項30のいずれかに記載の経路立案方法。

【請求項32】 前記腔の境界からの波動伝搬による前記距離の決定を含むこと、を特徴とする請求項27から請求項30のいずれかに記載の経路立案方法。

【請求項33】 前記経路決定は、比較的短い経路の決定を含むこと、を特徴とする請求項1から請求項32のいずれかに記載の経路立案方法。

【請求項34】 前記比較的短い経路は、様々な位置に関連付けられたペナルティ値を考慮に入れた最短の経路を含むこと、を特徴とする請求項33に記載の経路立案方法。

【請求項35】 自動的な経路決定は、少なくとも腔の一部分を表すグラフの生成を含むこと、を特徴とする請求項33又は請求項34に記載の経路立案方法。

【請求項36】 前記経路は前記グラフに経路探索方法を適用することによって決定され、前記グラフの前記一部分は、前記方法によって要求されるときにのみ生成されること、を特徴とする請求項35に記載の経路立案方法。

【請求項37】 自動的な経路決定は、前記グラフについてのDijkstraの最短経路探索方法を用いた経路の決定を含むこと、を特徴とする請求項35又は請求項36に記載の経路立案方法。

【請求項38】 前記グラフは、前記腔の中のボクセル (voxel) の部分セットのみを含むこと、を特徴とする請求項35から請求項37のいずれかに記載の経路立案方法。

【請求項39】 前記グラフは、概ね前記腔のスケルトン (skeleton) のみを含むこと、を特徴とする請求項38に記載の経路立案方法。

【請求項40】 前記スケルトンは、前記腔の浸食からのデータを利用して見つけられ、浸食は前記境界からの内部の点の距離を決定するために利用されること、を特徴とする請求項39に記載の経路立案方法。

【請求項41】 前記データセットは、ボクセルで表されること、を特徴とする請求項1から請求項40のいずれかに記載の経路立案方法。

【請求項 4 2】 前記境界は、ポリゴンで表されること、を特徴とする請求項 1 から請求項 4 1 のいずれかに記載の経路立案方法。

【請求項 4 3】 前記データセットは、CTデータセットを含むこと、を特徴とする請求項 1 から請求項 4 2 のいずれかに記載の経路立案方法。

【請求項 4 4】 前記データセットは、MRIデータセットを含むこと、を特徴とする請求項 1 から請求項 4 2 のいずれかに記載の経路立案方法。

【請求項 4 5】 前記データセットは、NMデータセットを含むこと、を特徴とする請求項 1 から請求項 4 2 のいずれかに記載の経路立案方法。

【請求項 4 6】 前記境界は、その中に小さな穴を有し、前記経路はあらかじめ定められた幅よりも狭い穴を通過しないこと、を特徴とする請求項 1 から請求項 4 5 のいずれかに記載の経路立案方法。

【請求項 4 7】 前記前記あらかじめ定められた幅は、前記腔の形態に依存すること、を特徴とする請求項 4 6 に記載の経路立案方法。

【請求項 4 8】 経路立案の方法であって、
複数の湾曲部と境界を有する腔を表す医療データセットの提供と、
少なくとも開始点と終了点を含む前記データセットの複数の点の提供と、
前記開始点と終了点間の自動的な経路決定とを含み、
前記経路は、少なくとも二つの前記湾曲部において、前記腔のほぼ中央軸にとどまらず、かつ前記境界に対するあらかじめ定められた距離よりも近くには接近しないこと、
を特徴とする経路立案方法。

【請求項 4 9】 前記データセットはボクセルを用いて表され、前記経路は前記境界に対して 1 ボクセルより近くには接近しないこと、を特徴とする請求項 4 8 に記載の経路立案方法。

【請求項 5 0】 前記データセットはボクセルを用いて表され、前記経路は前記境界に対して 3 ボクセルより近くには接近しないこと、を特徴とする請求項 4 8 に記載の経路立案方法。

【請求項 5 1】 前記データセットはボクセルを用いて表され、前記経路は前記境界に対して、前記腔の局所的な幅の 10 分の 1 より近くには接近しないこ

と、を特徴とする請求項48に記載の経路立案方法。

【請求項52】 前記データセットはボクセルを用いて表され、前記経路は、前記境界のあらかじめ定められた幅より狭い穴を通過しないこと、を特徴とする請求項48に記載の経路立案方法。

【請求項53】 腔とその境界を含むデータセットのスケルトン化 (skeletonizing) する方法であって、

増加する半径 R の球を用いる、前記腔の浸食と、

前記浸食を利用しての、前記境界からの前記腔の内側の点の距離の決定と、

それぞれの半径 R ごとに、半径1の球を用いて、前記浸食された腔を広げることと、

スケルトンを形成するための、前記広げることによって前記浸食された腔から取り去られた点の蓄積と、

を含むこと、を特徴とするスケルトン化方法。

【請求項54】 球 R による浸食は、半径 $R-1$ の球を用いての浸食の結果の、半径1の球を用いた浸食を含むこと、を特徴とする請求項53に記載のスケルトン化方法。

【請求項55】 経路立案の方法であって、

腔と境界を表すデータセットの提供と、

少なくとも開始点と終了点とを含む前記データセット内の複数の点の提供と、

前記腔の内部の様々な点の通過に関連付けられたペナルティに応じた、前記開始点及び前記終了点間の自動的な経路決定と、

を含むことを特徴とする経路立案方法。

【請求項56】 前記ペナルティ関数は、前記腔の幅に応じていること、を特徴とする請求項55に記載の経路立案方法。

【請求項57】 前記ペナルティ関数は、前記経路の局所的な湾曲の量に応じていること、を特徴とする請求項56又は請求項57に記載の経路立案方法。

【請求項58】 自動的な経路決定は、点について前記ペナルティ関数の値を求めることを含むこと、を特徴とする請求項55から請求項57のいずれかに記載の経路立案方法。

【請求項59】 前記ペナルティ関数は、前記腔の境界からの点の距離に依存すること、を特徴とする請求項58に記載の経路立案方法。

【請求項60】 前記ペナルティ関数は、前記境界からより遠い点に対してより低いこと、を特徴とする請求項59に記載の経路立案方法。

【請求項61】 前記経路決定は、比較的短い経路の決定を含むこと、を特徴とする請求項55から請求項60のいずれかに記載の経路立案方法。

【請求項62】 比較的短い経路は、様々な点に関連付けられたペナルティ値を考慮に入れた最短の経路を含むこと、を特徴とする請求項61に記載の経路立案方法。

【請求項63】 自動的な経路決定は、前記腔の少なくとも一部分を表すグラフの生成を含み、前記経路は前記グラフに経路探索方法を適用することによって決定され、前記グラフの前記一部分は前記方法によって必要であるとされるときのみ生成されること、を特徴とする請求項61又は請求項62に記載の経路立案方法。

【請求項64】 前記ペナルティ関数は、前記様々な点の前記境界からのユークリッド距離に応じていること、を特徴とする請求項1から請求項47、又は、請求項55から請求項63のいずれかに記載の経路立案方法。

【請求項65】 前記経路立案は、経路が2つの対角線状に隣接するボクセルを通過することを許容すること、を特徴とする請求項1から請求項47、又は、請求項55から請求項64のいずれかに記載の経路立案方法。

【請求項66】 前記粒度は、前記腔の形態に応じて決定されること、を特徴とする請求項25に記載の経路立案方法。

【請求項67】 局所的な粒度が決定され、前記形態は局所的な形態を含むこと、を特徴とする請求項66に記載の経路立案方法。

【請求項68】 前記局所的な形態は、局所的な幅を含むこと、を特徴とする請求項67に記載の経路立案方法。

【請求項69】 局所的な粒度が決定され、前記粒度は、腔の境界からの位置の距離に応じて決定されること、を特徴とする請求項25に記載の経路立案方法。

【請求項 70】 最初の経路立案のための最初の粒度が決定され、第 2 の粒度、及び、繰り返される経路立案のための開始点としての前記最初の経路を用いて前記経路立案を繰り返すことを含むこと、を特徴とする請求項 25 に記載の経路立案方法。

【手続補正書】特許協力条約第34条補正の翻訳文提出書

【提出日】平成12年5月15日（2000. 5. 15）

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】特許請求の範囲

【補正方法】変更

【補正内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】 経路立案の方法であって、
腔（cavity）と境界を表している医療画像化データセットの提供と、
少なくとも開始点と終了点を含む前記データセット内の複数の点の提供と、
前記腔の中の様々な点の通過に関連付けられたペナルティ（penalty）に応じた、前記開始点と前記終了点間の自動的な経路決定と、
を含むことを特徴とする経路立案方法。

【請求項2】 前記ペナルティ関数は、腔の形態に応じていること、を特徴とする請求項1に記載の経路立案方法。

【請求項3】 前記形態は、幅を含むこと、を特徴とする請求項2に記載の経路立案方法。

【請求項4】 前記形態は、局所的な形態であること、を特徴とする請求項2又は請求項3に記載の経路立案方法。

【請求項5】 前記ペナルティ関数は、経路に応じていること、を特徴とする請求項1から請求項4のいずれかに記載の経路立案方法。

【請求項6】 前記ペナルティ関数は、経路の局所的な湾曲の量に応じていること、を特徴とする請求項5に記載の経路立案方法。

【請求項7】 自動的な経路決定は、ビューポート（viewport）の原点の軌道の自動的な決定を含むこと、を特徴とする請求項1から請求項6のいずれかに記載の経路立案方法。

【請求項8】 複数の点の提供は、軌道の提供を含むこと、を特徴とする請求項1から請求項7のいずれかに記載の経路立案方法。

【請求項 9】 自動的な経路決定は、照準点の軌道の自動的な決定を含むこと、を特徴とする請求項 1 から請求項 8 のいずれかに記載の経路立案方法。

【請求項 10】 自動的な経路決定は、ビューポート原点を通して進む経路を基準とする、視線の角度方向づけの自動的な決定を含むこと、を特徴とする請求項 1 から請求項 9 のいずれかに記載の経路立案方法。

【請求項 11】 自動的な経路決定は、腔の局所的な幅に応じた、ビューポート原点を通して進む経路を基準とする、視線の角度方向づけの自動的な決定を含むこと、を特徴とする請求項 1 から請求項 9 のいずれかに記載の経路立案方法。

【請求項 12】 自動的な経路決定は、腔の局所的な湾曲に応じた、ビューポート原点を通して進む経路を基準とする、視線の角度方向づけの自動的な決定を含むこと、を特徴とする請求項 1 から請求項 9、又は請求項 11 のいずれかに記載の経路立案方法。

【請求項 13】 自動的な経路決定は、視野原点の軌道に沿っての少なくとも一つの目視パラメータ (viewing parameter) の自動的な決定を含むこと、を特徴とする請求項 1 から請求項 10 のいずれかに記載の経路立案方法。

【請求項 14】 前記ペナルティは、点から可能な目視品質に依存すること、を特徴とする請求項 1 から請求項 13 のいずれかに記載の経路立案方法。

【請求項 15】 前記目視品質は、人の知覚能力に依存すること、を特徴とする請求項 14 に記載の経路立案方法。

【請求項 16】 前記目視品質は、前記経路を用いて実行される特定の作業に依存すること、を特徴とする請求項 14 又は請求項 15 に記載の経路立案方法。

【請求項 17】 経路の平滑化を含むこと、を特徴とする請求項 1 から請求項 16 のいずれかに記載の経路立案方法。

【請求項 18】 前記平滑化は、前記経路の平滑化される部分での、腔の局所的な幅に依存すること、を特徴とする請求項 17 に記載の経路立案方法。

【請求項 19】 少なくとも前記開始点と終了点間の自動的な経路決定の、自動的な繰返しを含むこと、を特徴とする請求項 1 から請求項 18 のいずれかに

記載の経路立案方法。

【請求項20】 前記経路決定についての少なくとも一つのユーザー提供の制限の提供を含むこと、を特徴とする請求項1から請求項19のいずれかに記載の経路立案方法。

【請求項21】 自動的な繰返しは、少なくとも一つのユーザー提供の制限に応じた、自動的な経路決定の自動的な繰返しを含むこと、を特徴とする請求項19に記載の経路立案方法。

【請求項22】 前記少なくとも一つの制限は、厳格な制限を含むこと、を特徴とする請求項20又は請求項21に記載の経路立案方法。

【請求項23】 前記少なくとも一つの制限は、柔軟な制限を含むこと、を特徴とする請求項20から請求項22のいずれかに記載の経路立案方法。

【請求項24】 ユーザーに対するどの制限が満たされないかの表示を含むこと、を特徴とする請求項20から請求項23のいずれかに記載の経路立案方法。

【請求項25】 前記経路決定のためのデータ粒度レベルの選択を含むこと、を特徴とする請求項1から請求項24のいずれかに記載の経路立案方法。

【請求項26】 自動的な経路決定は、点に対するペナルティ関数の値を求めることを含むこと、を特徴とする請求項1から請求項25のいずれかに記載の経路立案方法。

【請求項27】 前記ペナルティ関数は、前記腔の境界からの点の距離に依存すること、を特徴とする請求項26に記載の経路立案方法。

【請求項28】 前記ペナルティ関数は、境界からより遠い点に対してより低いこと、を特徴とする請求項27に記載の経路立案方法。

【請求項29】 前記ペナルティ関数は、前記境界へ接近するときにかんりの増加の比率を有すること、を特徴とする請求項28に記載の経路立案方法。

【請求項30】 前記ペナルティ関数は、前記境界から遠くで低い変化の比率を有すること、を特徴とする請求項28又は請求項29に記載の経路立案方法。

【請求項31】 データセットの浸食 (erosion) による前記距離の決定を

含むこと、を特徴とする請求項27から請求項30のいずれかに記載の経路立案方法。

【請求項32】 前記腔の境界からの波動伝搬による前記距離の決定を含むこと、を特徴とする請求項27から請求項30のいずれかに記載の経路立案方法。

【請求項33】 前記経路決定は、比較的短い経路の決定を含むこと、を特徴とする請求項1から請求項32のいずれかに記載の経路立案方法。

【請求項34】 前記比較的短い経路は、様々な位置に関連付けられたペナルティ値を考慮に入れた最短の経路を含むこと、を特徴とする請求項33に記載の経路立案方法。

【請求項35】 自動的な経路決定は、少なくとも腔の一部分を表すグラフの生成を含むこと、を特徴とする請求項33又は請求項34に記載の経路立案方法。

【請求項36】 前記経路は前記グラフに経路探索方法を適用することによって決定され、前記グラフの前記一部分は、前記方法によって要求されるときにのみ生成されること、を特徴とする請求項35に記載の経路立案方法。

【請求項37】 自動的な経路決定は、前記グラフについてのDijkstraの最短経路探索方法を用いた経路の決定を含むこと、を特徴とする請求項35又は請求項36に記載の経路立案方法。

【請求項38】 前記グラフは、前記腔の中のボクセル (voxel) の部分セットのみを含むこと、を特徴とする請求項35から請求項37のいずれかに記載の経路立案方法。

【請求項39】 前記グラフは、概ね前記腔のスケルトン (skeleton) のみを含むこと、を特徴とする請求項38に記載の経路立案方法。

【請求項40】 前記スケルトンは、前記腔の浸食からのデータを利用して見つけられ、浸食は前記境界からの内部の点の距離を決定するために利用されること、を特徴とする請求項39に記載の経路立案方法。

【請求項41】 前記データセットは、ボクセルで表されること、を特徴とする請求項1から請求項40のいずれかに記載の経路立案方法。

【請求項 4 2】 前記境界は、ポリゴンで表されること、を特徴とする請求項 1 から請求項 4 1 のいずれかに記載の経路立案方法。

【請求項 4 3】 前記データセットは、CT データセットを含むこと、を特徴とする請求項 1 から請求項 4 2 のいずれかに記載の経路立案方法。

【請求項 4 4】 前記データセットは、MRI データセットを含むこと、を特徴とする請求項 1 から請求項 4 2 のいずれかに記載の経路立案方法。

【請求項 4 5】 前記データセットは、NM データセットを含むこと、を特徴とする請求項 1 から請求項 4 2 のいずれかに記載の経路立案方法。

【請求項 4 6】 前記境界は、その中に小さな穴を有し、前記経路はあらかじめ定められた幅よりも狭い穴を通過しないこと、を特徴とする請求項 1 から請求項 4 5 のいずれかに記載の経路立案方法。

【請求項 4 7】 前記前記あらかじめ定められた幅は、前記腔の形態に依存すること、を特徴とする請求項 4 6 に記載の経路立案方法。

【請求項 4 8】 経路立案の方法であって、
複数の湾曲部と境界を有する腔を表す医療データセットの提供と、
少なくとも開始点と終了点を含む前記データセットの複数の点の提供と、
前記開始点と終了点間の自動的な経路決定とを含み、
前記経路は、少なくとも二つの前記湾曲部において、前記腔のほぼ中央軸にとどまらず、かつ前記境界に対するあらかじめ定められた距離よりも近くには接近しないこと、
を特徴とする経路立案方法。

【請求項 4 9】 前記データセットはボクセルを用いて表され、前記経路は前記境界に対して 1 ボクセルより近くには接近しないこと、を特徴とする請求項 4 8 に記載の経路立案方法。

【請求項 5 0】 前記データセットはボクセルを用いて表され、前記経路は前記境界に対して 3 ボクセルより近くには接近しないこと、を特徴とする請求項 4 8 に記載の経路立案方法。

【請求項 5 1】 前記データセットはボクセルを用いて表され、前記経路は前記境界に対して、前記腔の局所的な幅の 10 分の 1 より近くには接近しないこ

と、を特徴とする請求項48に記載の経路立案方法。

【請求項52】 前記データセットはボクセルを用いて表され、前記経路は、前記境界のあらかじめ定められた幅より狭い穴を通過しないこと、を特徴とする請求項48に記載の経路立案方法。

【請求項53】 距離の決定と、腔とその境界を含むデータセットのスケルトン化 (skeletonizing) とが並列する方法であって、

増加する半径 R_i の一連の球を用いての前記腔の浸食と、

前記浸食を利用した、前記境界からの前記腔の内側の点の距離の決定と、

それぞれの半径 R_i ごとに、半径1の球を用いて、前記浸食された腔を広げることと、

スケルトンを形成するための、前記広げることによって前記浸食された腔から取り去られた点の蓄積と、

を含むことを特徴とする方法。

【請求項54】 球 R による浸食は、半径 $R-1$ の球を用いての浸食の結果の、半径1の球を用いた浸食を含むこと、を特徴とする請求項53に記載の方法。

【請求項55】 経路立案の方法であって、腔と境界を表すデータセットの提供と、少なくとも開始点と終了点とを含む前記データセット内の複数の点の提供と、前記腔の内部の様々な点の通過に関連付けられたペナルティに応じた、前記開始点及び前記終了点間の自動的な経路決定と、を含むことを特徴とする経路立案方法。

【請求項56】 前記ペナルティ関数は、前記腔の幅に応じていること、を特徴とする請求項55に記載の経路立案方法。

【請求項57】 前記ペナルティ関数は、前記経路の局所的な湾曲の量に応じていること、を特徴とする請求項56又は請求項57に記載の経路立案方法。

【請求項58】 自動的な経路決定は、点について前記ペナルティ関数の値を求めることを含むこと、を特徴とする請求項55から請求項57のいずれかに記載の経路立案方法。

【請求項59】 前記ペナルティ関数は、前記腔の境界からの点の距離に依存すること、を特徴とする請求項58に記載の経路立案方法。

【請求項60】 前記ペナルティ関数は、前記境界からより遠い点に対してより低いこと、を特徴とする請求項59に記載の経路立案方法。

【請求項61】 前記経路決定は、比較的短い経路の決定を含むこと、を特徴とする請求項55から請求項60のいずれかに記載の経路立案方法。

【請求項62】 比較的短い経路は、様々な点に関連付けられたペナルティ値を考慮に入れた最短の経路を含むこと、を特徴とする請求項61に記載の経路立案方法。

【請求項63】 自動的な経路決定は、前記腔の少なくとも一部分を表すグラフの生成を含み、前記経路は前記グラフに経路探索方法を適用することによって決定され、前記グラフの前記一部分は前記方法によって必要であるとされるときのみ生成されること、を特徴とする請求項61又は請求項62に記載の経路立案方法。

【請求項64】 前記ペナルティ関数は、前記様々な点の前記境界からのユークリッド距離に応じていること、を特徴とする請求項1から請求項47、又は、請求項55から請求項63のいずれかに記載の経路立案方法。

【請求項65】 前記経路立案は、経路が2つの対角線状に隣接するボクセルを通過することを許容すること、を特徴とする請求項1から請求項47、又は、請求項55から請求項64のいずれかに記載の経路立案方法。

【請求項66】 前記粒度は、前記腔の形態に応じて決定されること、を特徴とする請求項25に記載の経路立案方法。

【請求項67】 局所的な粒度が決定され、前記形態は局所的な形態を含むこと、を特徴とする請求項66に記載の経路立案方法。

【請求項68】 前記局所的な形態は、局所的な幅を含むこと、を特徴とする請求項67に記載の経路立案方法。

【請求項69】 局所的な粒度が決定され、前記粒度は、腔の境界からの位置の距離に応じて決定されること、を特徴とする請求項25に記載の経路立案方法。

【請求項70】 最初の経路立案のための最初の粒度が決定され、第2の粒度、及び、繰り返される経路立案のための開始点としての前記最初の経路を用いて前記経路立案を繰り返すことを含むこと、を特徴とする請求項25に記載の経路立案方法。

【手続補正2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0094

【補正方法】変更

【補正内容】

【0094】

本発明の好ましい実施形態によれば、視野は、例えば、その開示が参照によって本明細書に組み込まれる、1998年2月23日に出願された、出願人S. AkermanとG. Millerによる米国仮出願シリアル番号60/075,519、タイトル“Raycasting System and Method”に記述されるように、レイキャスティング（raycasting）方法を用いて描写される。そこには決定された距離よりも近い外部ボクセルは存在できないので、経路上のそれぞれの点について決定された境界からの距離は、レイキャスティング・アルゴリズムの低い限界として用いられるのが好ましい。

【手続補正3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0095

【補正方法】変更

【補正内容】

【0095】

上記方法は、経路の全ての側面についての立案を含むように記述されているけれども、本発明の好ましい実施形態において、上述の方法は、側面のほんのいくつかに対してのみ用いられる。代替として又は追加として、ステップの順序が変更されても良く、及び／又はサブステップに分離され及び／又は結合される。本発明の好ましい実施形態において、重い計算を遅らせるため及び／又はメモリ要

求を可能な限り減らすため、のろい求値テクニックが用いられる。このような計算には、ペナルティ関数の値を求めること、及び／又はグラフを作ることが含まれる。

【手続補正4】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0096

【補正方法】変更

【補正内容】

【0096】

本発明の好ましい実施形態において、ユーザーは、本発明の好ましい実施形態によって生成される経路を見ている間、様々な目視パラメータのリアルタイムのコントロールを実行する。このようなパラメータは、位置、移動及び距離の関数としての減衰、スピード、凝視の方向、凝視の角度、視野のサイズ、及びアスペクト比を含む。

【手続補正5】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0097

【補正方法】変更

【補正内容】

【0097】

本発明のいくつかの好ましい実施形態によれば、ここに記述されたいくつかの方法が、反復の方法で適用される。本発明の一つの好ましい実施形態において、ユーザーは制約を入力し、システムはこれらの制約に適合しようと試みる経路を生成し、その後ユーザーは恐らく、生成された経路及び／又は生成された視野の品質に基づいてこれらの制約を変更するであろう。好ましくは、距離計算のような少なくともいくつかの計算は、一度だけ実行され、それぞれの反復を繰り返されない。追加として、全ての制約がそれぞれの反復に入力される必要がないことが好ましい。ユーザー入力の制約の一例は、経路が通過することが望まれる点の集合である。

【手続補正6】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0098

【補正方法】変更

【補正内容】

【0098】

追加として又は代替として、上述の方法は、特に経路の平滑化及び／又は目視パラメータの計算のために、他の方法で生成され及び／又はユーザーによって入力された経路に対して、後処理ステップとして適用されても良い。本発明の一つの好ましい実施形態において、最善の目視角度と速度のみが、固定の経路のために決定される。本発明の好ましい実施形態において、方法は、経路の（好ましくは小さな）集合から経路を選択するために用いられる。追加として又は代替として、特にユーザーが既存の経路を修正した後又はそれが平滑化されたならば、どのユーザー選択の制約が違反されたかを決定するため、及び／又は経路に目視品質の等級を対応付けるため、上述の方法が、既存の経路の値を求めるために適用されても良い。方法は、これらの経路の一つを選択するユーザーを補助するために、可能性のある経路を等級分けすべく用いられる。

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No. PCT/IL 98/00087	
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER IPC 6 G09B23/28 A61B1/00	
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC	
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) IPC 6 G09B A61B G06T	
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched	
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)	
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT	
Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages Relevant to claim No.
E	WO 98 11524 A (THE RESEARCH FOUNDATION OF STATE UNIVERSITY OF NEW YORK) 19 March 1998 see abstract see page 6, line 6 - page 11, line 11 see page 13, line 1-7 see page 14, line 13 - page 16, line 30; figures 1-6 --- -/--
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of box C.	
<input checked="" type="checkbox"/> Patent family members are listed in annex.	
Special categories of cited documents : "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier document but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubt on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art. "S" document member of the same patent family	
Date of the actual completion of the international search 9 November 1998	Date of mailing of the international search report 27/11/1998
Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.O. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tr. 31 651 epo nl Fax (+31-70) 340-3016	Authorized officer Beitner, M

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 1992)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

In International Application No.

PCT/IL 98/00087

C. (Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category	Citation of document with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
T	PAIK DAVID S.: "Automated flight path planning for virtual endoscopy" MEDICAL PHYSICS, vol. 25, no. 5, May 1998, pages 629-637, XP002083445 USA see abstract see paragraphs: "I. INTRODUCTION"; "II. DEFINITIONS"; "III. BACKGROUND"; "IV. PATH PLANNING ALGORITHM"; figures 1-7	1,48,55
A	RUBIN G.D.; BEAULIEU C.F. ET AL.: "Perspective volume rendering of CT and MR images: applications for endoscopic imaging" RADIOLOGY, RADIOLOG. SOC. NORTH AMERICA, vol. 199, no. 2, May 1996, pages 321-330, XP002083446 usa see abstract see paragraph: "MATERIALS AND METHODS" see figures 1-3	1,48,55
A	WO 97 09690 A (NORTHROP GRUMMAN CORPORATION) 13 March 1997 see abstract see page 3, line 2 - page 6, line 3 see page 7, line 17 - page 9, line 4 see page 10, line 31 - page 12, line 1 see page 13, line 3 - page 15, line 11 see page 16, line 11 - page 17, line 34; figures 1-6	39-41
A	VINING D.J. ET AL.: "FreeFlight: A Virtual Endoscopy System" FIRST JOINT CONFERENCE, COMPUTER VISION, VIRTUAL REALITY AND ROBOTICS IN MEDICINE AND MEDICAL ROBOTICS AND COMPUTER-ASSISTED SURGERY PROCEEDINGS, 19 - 22 March 1997, pages 413-416, XP002083447 Grenoble, France see the whole document	1
A	US 5 611 025 A (LORENSEN ET AL.) 11 March 1997 cited in the application see abstract see column 2, line 36 - column 3, line 35 see column 4, line 39 - column 5, line 15; figures 1-3	1,48,55

Form PCT/ISA/210 (continuation of second sheet) (July 1992)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No.

PCT/IL 98/00087

Patent document: cited in search report		Publication date	Patent family member(s)		Publication date
WO 9811524	A	19-03-1998	AU	4267897 A	02-04-1998
WO 9709690	A	13-03-1997	AU	6917496 A	27-03-1997
US 5611025	A	11-03-1997	CN	1135047 A	06-11-1996
			DE	19543410 A	27-06-1996
			JP	8252217 A	01-10-1996

フロントページの続き

(81) 指定国 EP(AT, BE, CH, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AP(GH, GM, KE, LS, MW, SD, SZ, UG, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, CA, CH, CN, CU, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, GB, GE, GH, GM, GW, HU, ID, IL, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MD, MG, MK, MN, MW, MX, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZW